Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

Tesis:

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, EN 1930 Y CONTEMPORÁNEA, PARA EL EDIFICIO "LA NACIONAL", PRIMER RASCACIELOS EN MÉXICO

Oscar Minor García

Ingeniería Civil

Director:
M. en I. José Luis Trigos Suárez

México D. F. 2014

VNIVERSIDAD NACIONAL AVFNOMA DE MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/105/13

Señor
ÓSCAR MINOR GARCÍA
P r e s e n t e

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, EN 1930 Y CONTEMPORÁNEA, PARA EL EDIFICIO "LA NACIONAL", PRIMER RASCACIELOS EN MÉXICO"

INTRODUCCIÓN
I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS
II. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU ESTRUCTURA
III. ESTUDIOS ANALÍTICOS
IV. REVISIÓN DE RESULTADOS
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA
LISTA DE IMÁGENES, TABLAS Y FIGURAS

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.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 2 de octubre del 2013.
EL PRESIDENTE

M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.

Vo. Bo. 8 ABR 2014
8/04/14
8/04/2014
8/04/14

Vo Bo
08-04-14
MIGUEL A. RUIZ VEGA

AGRADECIMIENTOS

A las personas que han estado presentes en las etapas más importantes de mi vida:
A mis padres, mis hermanas y mi sobrino.
A Roberto.
A mis amigos, Abreu, Alberto, Isaac, Martin, Miguel, Pamela y Rodrigo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.
A la Facultad de Ingeniería.

Especial agradecimiento a las personas que con información, explicaciones, comentarios y observaciones de gran utilidad contribuyeron a la realización de este trabajo:

- Ing. Adolfo Reyes Pizano.
- Dr. Bernardo Gómez González.
- Lic. Enrique Díaz Rodríguez.
- M. en I. Fernando Monroy Miranda.
- M. en I. José Luis Trigos Suárez.
- Ing. José Manuel Covarrubias Solís.
- Ing. Josué Garduño Chávez.
- Ing. Raúl David Granados Granados.

Parce que nous sommes des ingénieurs, croit-on donc que la beauté ne nous préoccupe pas dans nos constructions et qu'en même temps que nous faisons solide et durable, nous ne nous efforçons pas de faire élégant? Est-ce que les véritables conditions de la forcé ne sont pas toujours conformes aux conditions secrètes de l'harmonie?

Gustave Eiffel (1832-1923)

I like to see a man standing at the foot of a skyscraper... It's man who made it--the whole incredible mass of stone and steel. It doesn't dwarf him, it makes him greater than the structure. It reveals his true dimensions to the world. What we love about these buildings, Dominique, is the creative faculty, the heroic in man.

Ayn Rand. *The Fountainhead*. 1943.

Voy a guardar intacto el recuerdo de este instante porque todo lo que existe ahora mismo nunca volverá a ser igual...

José Emilio Pacheco, *Las batallas en el desierto*. 1981.

TESIS:

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, EN 1930 Y CONTEMPORÁNEA PARA EL EDIFICIO "LA NACIONAL", PRIMER RASCACIELOS EN MÉXICO.

PRESENTA:

OSCAR MINOR GARCÍA -306061301

Contenido

Contenido 6
INTRODUCCIÓN 8
I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS 10
A. Historia geológica del valle de México. 10
1. Estratigrafía 11
2. Formación de las arcillas y los depósitos en el Valle de México 13
3. Zonificación 16
B. Edificaciones en México hasta 1930 19
1. Cimentaciones 29
C. El Rascacielos 36
D. El concreto reforzado en el '*Art Déco*' 42
II. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU ESTRUCTURA 55
A. Descripción de la construcción 55
B. Descripción de la estructura y su cimentación 58
C. Tipificación de la construcción 64
D. Proyecto y levantamiento arquitectónico 67
E. Proyecto/levantamiento estructural 71
III. ESTUDIOS ANALÍTICOS 76
A. Modelación analítica 77
1. Pre dimensionamiento de elementos estructurales 77
B. Modelación de la estructura 85
C. Propiedades geométricas de elementos 85
D. Propiedades mecánicas de materiales 87
1. Concreto 87
2. Acero 88
E. Cargas actuantes en la estructura y combinación de acciones. 89
1. - Combinaciones de acciones 89

F. Efectos de cargas permanentes 90
G. Efectos de cargas accidentales: sismo y viento 91
1. Sismo 91
2. Viento 97
IV. REVISIÓN DE RESULTADOS 101
A. Diseño estructural conforme la práctica profesional de los años treinta 101
1. Peso Total 105
2. Modos de vibrar 105
3. Cortante Basal 106
4. Estados límites de servicio 107
5. Estados límite de Falla 113
B. Diseño estructural conforme las disposiciones vigentes de 2004 117
1. Peso Total 122
2. Modos de vibrar 122
3. Cortante Basal 123
4. Estados límite de servicio 124
5. Estados límite de falla 128
C. Comparación de resultados 132
1. Diseño 132
2. Peso por elementos estructurales 133
3. Peso por condición de carga 134
4. Periodos 134
5. Deformaciones 136
1. Capacidad 137
2. Conexiones 139
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 144
ANEXOS 150
A. INAUGURACIÓN 150
B. CÁLCULO DE LOSAS 153
C. DISEÑO POR VIENTO 156
Bibliografía 158
Lista de imágenes y figuras 160

INTRODUCCIÓN

Después de la Revolución Mexicana quedó en el país un deseo constante por explorar nuevas tendencias y un concepto de modernidad estaba presente en diferentes ámbitos de la vida cotidiana en México. Durante los primeros años de la década de 1920 nuevas formas de vivir el mundo se fueron creando como resultado directo o indirecto de la Guerra. Ya desde mediados del siglo anterior había comenzado la construcción de rascacielos, pero es a principios del siglo XX que comienza la construcción de edificios emblemáticos en las ciudades de Chicago y Nueva York. Estas ciudades sirvieron como modelo para generar la nueva idea de ciudad del mundo occidental. Este hecho es impulsado en gran medida por la aparición de un nuevo material de construcción del que se comenzaron a hacer estudios y que debido a su eficiencia, su uso fue rápidamente disperso por todo el mundo: el concreto reforzado.

En México, las grandes construcciones habían estado a cargo del Estado o de la Iglesia. A principio de siglo XX la industrialización del país llevó a la diversificación en cuanto a construcciones, y es durante los gobiernos revolucionarios que varios arquitectos comienzan a buscar una identidad sobre la mexicanidad al tiempo que voltean a inspirarse en las tendencias mundiales. El rascacielos nació en otra situación y para resolver otros problemas, sin embargo, en la Ciudad de México tuvo que resolver sus propias dificultades, siendo el suelo arcilloso la principal de ellas.

El objetivo de este trabajo es comparar dos soluciones estructurales para el edificio “La Nacional”, precursor de la construcción moderna en México, tomando en consideración un diseño como se hubiese hecho en 1930, y un diseño contemporáneo que cumple con las disposiciones del reglamento vigente, recopilando información arquitectónica y estructural disponible, y empleando herramientas y métodos contemporáneos. Analizar las diferencias en peso y en resistencia de ambas soluciones, y observar las consecuencias que el deterioro y las características del Valle de México inducen en este tipo de estructuras.

La primera parte de este trabajo trata de la historia del Valle de México, pues es importante señalar el origen de la composición tan peculiar del suelo sobre el que se levanta la ciudad de México. También, es importante cuando se habla de construcciones en México, mencionar el proceso que se ha seguido en el estudio geotécnico del valle, y el origen de la reglamentación que al respecto existe. Posteriormente, se hace una pequeña reseña de las diferentes clases de construcciones que el hombre ha hecho en esta región, enfatizando las construcciones cuya altura ha sido significativa en el valle, hasta que apareció “La Nacional”. La altura de una edificación está invariablemente ligada a su cimentación, por eso el siguiente tema que se aborda es el de los diferentes métodos que han sido empleados en la ciudad para formar la base de las edificaciones. Finalmente, dentro de los antecedentes históricos es sumamente importante mencionar el concreto reforzado como material de construcción y su adaptación dentro de la estética conocida como *Art Déco*, para entender la situación histórica dentro de la que nace el concepto que

llevará a los directivos de la Nacional Compañía de Seguros sobre la Vida a construir el primer rascacielos en México.

Tomando en cuenta los antecedentes históricos que dan origen a la construcción de la Nacional, en el segundo capítulo se prosigue con la descripción del edificio. Se describe la estructura como se encuentra en la actualidad y la tipificación que de ella se hace en el reglamento vigente, además de mostrarse información referente al subsuelo del lugar. Se presentan planos del proyecto arquitectónico, así como las características principales de la estructura y la cimentación.

En el tercer capítulo, se establecen las consideraciones relativas a los dos modelos analíticos que se hacen de la estructura, así como los métodos utilizados para cada diseño, especificando a qué tiempo corresponde cada uno, y las características de los modelos que se realizaron para el análisis. Se menciona la configuración geométrica de los elementos estructurales, las cargas y combinaciones de cargas usadas dentro del análisis y las características mecánicas de los materiales empleados.

El cuarto capítulo consiste en los resultados del análisis de cada modelo. Se divide en tres apartados, donde los primeros dos corresponden a cada uno de los diseños realizados y en el tercero se hace la comparación entre los resultados expuestos.

El quinto capítulo contiene las conclusiones derivadas del trabajo realizado, así como las recomendaciones que se pueden hacer para el estudio de estructuras similares.

Finalmente, se presentan los anexos en los que se presenta información adicional así como ciertos cálculos utilizados durante el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, se presenta la bibliografía consultada para la realización del trabajo y la lista de imágenes y figuras que ayudan a la comprensión y visualización de lo aquí expuesto.

Capítulo I

I. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A. Historia geológica del valle de México.

El valle de México se encuentra limitado por una serie de sierras de origen volcánico formando una cuenca cerrada. Al norte se localizan las sierras de Tepotzotlán, Tezontlalpan y Pachuca; al este, los llanos de Apan y la Sierra Nevada, donde se encuentran los grandes volcanes Popocatépetl e Iztaccíhuatl; al oeste se elevan las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo; y al sur, las sierras de Ajusco y Chichinautzin. Esta última asemeja la cortina de una presa que cerró el drenaje natural que la cuenca tenía hacia el sur hace unos 600,000 años, creando la presa azolvada sobre la que se levanta hoy la Ciudad de México.

La cuenca del valle de México se localiza en la parte sur de la mesa central, entre los meridianos 98°15´ y 99°30’ y los paralelos 19°00’ y 20°15’. Dentro de ella se encuentra una gran zona volcánica que atraviesa la República Mexicana de Oeste a Este y que es reflejo de una fractura en la corteza terrestre a la altura del paralelo 19° que provocó fracturas tensionales en dirección NNO a SSE de las que surgieron los enormes volcanes que dieron origen en el Plioceno a lo que hoy conocemos como Sierra Nevada y Sierra de las Cruces. Con el paso de los años, la erosión de estos volcanes creó un valle que originalmente drenaba hacia el sur. En esta época se formaron los depósitos conocidos como la formación Tarango, la más antigua en el valle. En algún momento, la corteza comenzó a presentar fracturas en dirección perpendicular a la anterior, de OSO a ENE lo cual originó una nueva actividad volcánica que provocó el cierre de la cuenca al sur, y la creación de los lagos en las partes bajas del valle, donde se depositaron gran cantidad de arenas y cenizas producto de la intensa actividad volcánica. De este último periodo de actividad volcánica son los volcanes cineríticos de la Sierra del Chichinautzin así como los volcanes de la Sierra de Santa Catarina, los cuales muestran su juventud en sus conos escoriáceos de forma regular, pues han sido afectados en menor medida por la erosión.[1,2]

La forma de la cuenca es irregular, alargada de Norte a Sur. En esa dirección tiene una longitud aproximada de 110 km mientras que de Este a Oeste, de la Sierra de las Cruces hasta los volcanes de la Sierra Nevada, cuenta con una longitud aproximada de 80 km. Así, el área que ocupa esta región es aproximadamente 7,160 km² de los cuales 3,080 km² corresponden a áreas montañosas y 2,050 km² a las

[1] MOOSER, Federico (1961). *Informe Sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y Zonas Colindantes.* México: Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Secretaría de Recursos Hidráulicos p. 5

[2] MOOSER, Federico (1956). *La Cuenca de México. Consideraciones Geológicas y Arqueológicas.* p. 14.

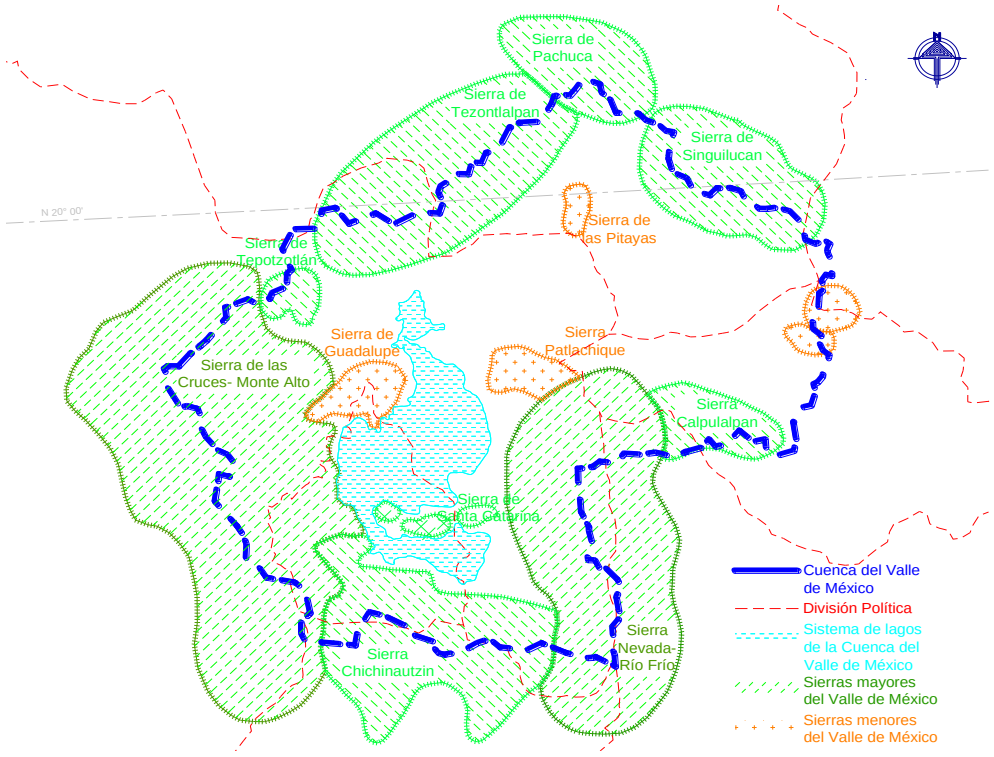


Figura I.1 Morfología general de la cuenca del Valle de México. OMG, 2013

partes bajas. La elevación media sobre el nivel del mar de la superficie de la cuenca se encuentra entre 2,240 m en su parte sur y 2,390 en su parte norte.[3,4]

La planicie del Valle de México está rellena en su parte superior por arcillas lacustres y en su parte inferior por clásticos producto de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcanes; con unas capas de ceniza y estratos de pómez que tuvieron su origen en el Terciario (Medio y Superior) y Cuaternario. Está cubierta por depósitos volcánicos de lavas, tobas y brechas que ocultan debajo suelos sedimentarios de calizas marinas del cretácico que sirven como basamento de la cuenca y que se originaron antes de la gran actividad volcánica del Plioceno. Dichas calizas se encuentran a profundidades de más de 700 m debajo de la superficie.[5]

1. Estratigrafía

A lo largo de la historia de la tierra se han presentado una serie de variaciones en la temperatura que podemos estudiar por medio del análisis de los perfiles de suelos, ya que éstos guardan en sí el sello de las condiciones del ambiente en que fueron creados.

En los últimos dos millones de años se han podido identificar una serie de glaciaciones en la región de Norteamérica, intercaladas con periodos de calor, o interglaciares. La primera glaciación, *Nebraska*, duró

[3] MOOSER (1961) O*p cit.* p. 6
[4] ZEEVAERT, (1988*) Sismo-Geodinámica de la Superficie del Suelo y Cimentación de edificios en la Ciudad de México.* México: p. 7
[5] MOOSER, (1961) *Op. cit*. p. 5

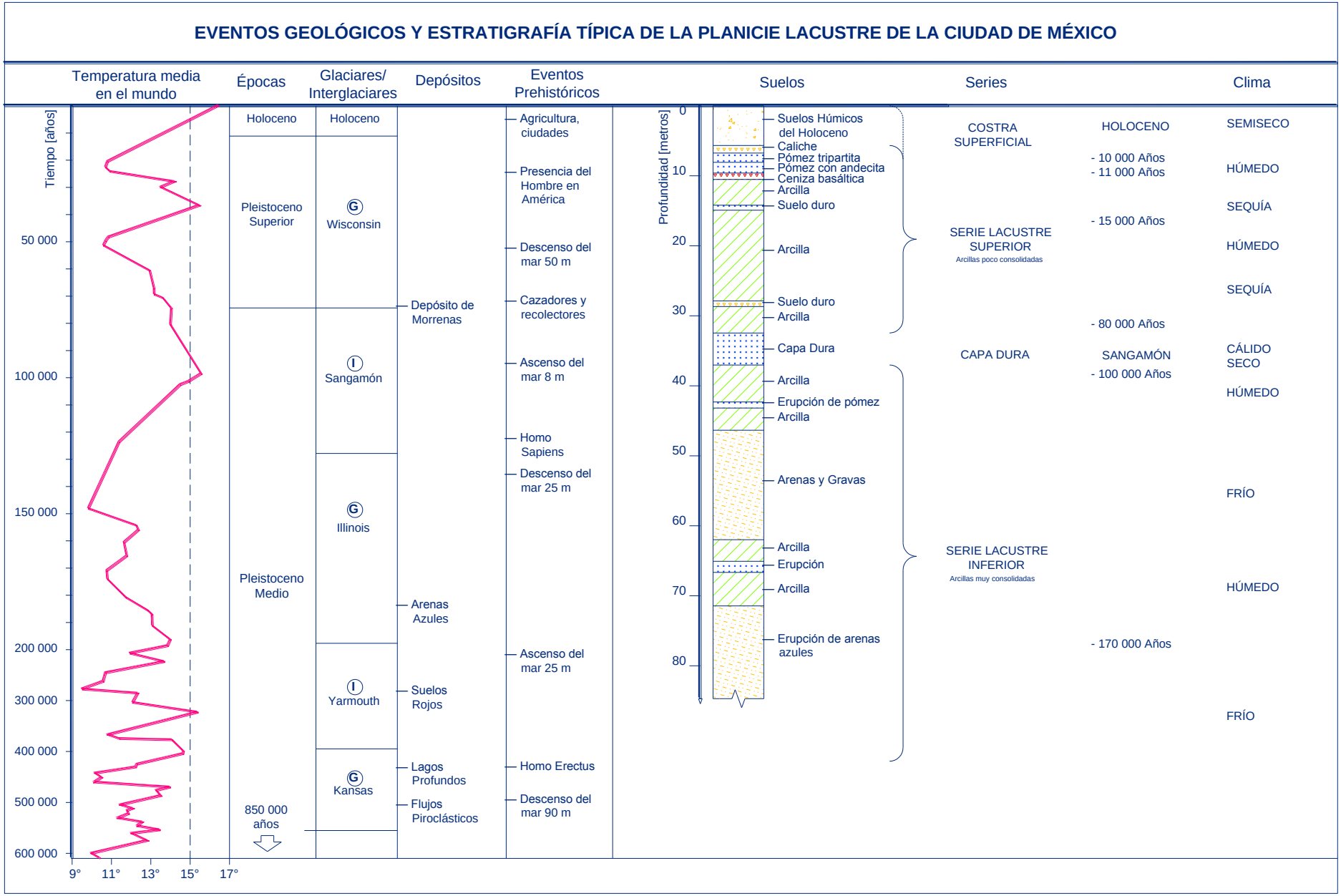


Figura I.2 Eventos geológicos y estratigrafía típica de la superficie lacustre de la Ciudad de México

aproximadamente 100,000 años. Le siguió un periodo caluroso tras el cual se presentó una segunda glaciación conocida como *Kansas*. Después se presentó el periodo interglaciar denominado *Yarmouth,* que duró alrededor de 200,000 años, esto hace unos 600,000 años, tras el cual vino un tercer periodo glacial, *Illinois*, que cedió a un tercer interglacial: *Sangamon*. Una cuarta glaciación se presentó hace 10,000 años aproximadamente. A partir de ese punto es lo que los geólogos han denominado como *Holoceno* o *Reciente*, que es un periodo de temperatura cálida que perdura hasta nuestros días.[6]

Como es posible apreciar en la figura I-2, desde su cierre por la sierra de Chichinautzin en el cuaternario superior, hace unos 600,000 años, la cuenca del Valle de México ha pasado por dos periodos de glaciación: *Illinois* y *Wisconsin*; y dos interglaciares: *Yarmouth* y *Sangamón*. Al final de la glaciación *Wisconsin* se presentó el clima que terminó con los mamutes, camellos y caballos que habitaron el valle en el Plesitoceno superior, y que coincide con la aparición de diversos artefactos hechos por el hombre.[7]

El depósito conocido como Becerra corresponde a la época glacial *Wisconsin* mientras que el depósito Tacubaya, que se encuentra debajo del Becerra, se originó en un periodo anterior al *Wisconsin*.

La figura I-2 también muestra la estratigrafía típica en la zona lacustre del Valle de México hasta los 80 metros de profundidad. Generalmente los sondeos geotécnicos no llegan más allá de los 150 metros pues la mecánica de suelos en la Ciudad de México se desarrolla en esta parte del subsuelo.

Los ingenieros geólogos y geotécnicos simplifican el subsuelo de la Ciudad de México en:

a) Serie Arcillosa Superior (SAS)
b) Capa Dura (CD)
c) Serie Arcillosa Inferior (SAI)
d) Depósitos Profundos (DP)

2. Formación de las arcillas y los depósitos en el Valle de México

Generalmente, los glaciares dan como consecuencia suelos de tipo eólico. En el Valle de México, durante los glaciares *Illinois* y *Wisconsin* se presentaron vientos extremadamente fuertes que acarrearon grandes volúmenes de partículas finas de polvo volcánico llamado *loess*, que fueron depositados al centro del valle. Este polvo se hidrató con las aguas alcalinas de los lagos y alteró su composición creando así las arcillas compresibles del subsuelo de la Ciudad de México.[8]

Al tiempo que se situaban los depósitos aluviales en el lago, ocurrieron también grandes erupciones volcánicas en el valle. Cuando estas erupciones eran violentas, grandes capas de ceniza se depositaban en la superficie de los lagos alternándose con los depósitos aluviales creando capas de estratos con diferentes características. Así, durante periodos de intensa sequía, el nivel de los lagos bajaba y se crearon costras endurecidas por deshidratación. Esto es posible corroborarlo en un corte típico del

[6] MOOSER, Federico. (1986). *Características geológicas y geotécnicas del valle de México*. Serie 100 kilómetros del Metro. México: SGODF P. 7-8
[7] MOOSER (1956) *Op Cit.* p. 9
[8] MOOSER (1986) *Op.Cit.* p. 9

subsuelo en el que se observa que existe una serie estratificada de arcilla con lentes duros de limos y arcillas cuyo espesor es mayor en las orillas y disminuye al centro de los lagos. Se deduce pues que el nivel de los lagos era variable, que el centro de los lagos mantenía sus condiciones húmedas y la acción solar deshidrataba los suelos de las orillas creando capas duras. La velocidad con la que se depositaron los suelos es cerca de un metro cada cuatro mil años.[9]

Depósitos de la Zona de Lago

En esta zona es donde se encuentran los depósitos lacustres en la planicie del valle. Debido a variaciones en la temperatura hubo temporadas en que la evaporación provocaba la desecación de los lagos. Así, se formaron una serie de transgresiones o regresiones lacustres que resultaron en el depósito de arcillas a niveles diferentes en el centro y en la zona de transición, y que, aunado a la actividad volcánica que se ha podido comprobar, provocaron una estratificación de arcillas blandas consecuencia de la alteración fisicoquímica de los materiales aluviales, creando suelos duros consecuencia de las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre y costras endurecidas por deshidratación en los periodos de sequía.[10]

Generalmente, se ha dividido la estratigrafía de la zona del lago de la forma siguiente[11]:

a) *Costra Superficial (CS).* Este estrato está subdividido a su vez en relleno artificial, donde encontramos restos de construcciones y/o rellenos arqueológicos, y varía de 1 a 7 m. Se compone de suelo blando, una serie de depósitos aluviales con lentes de material eólico intercalados; y costra seca, formada en algún periodo de sequía en el que el material del fondo del lago quedó expuesto a los rayos solares.
b) *Serie Arcillosa lacustre superior (SAS)*. Es el estrato que se encuentra entre la capa dura y la superficie. Tiene un espesor que varía entre 25 y 50 m. Está compuesto en su mayoría por arcillas blandas intercaladas con lentes duros producto de arenas volcánicas o suelos deshidratados.
c) *Capa dura (CD)*. Es un depósito de limo arenoso con un poco de arcilla y en ocasiones con gravas. Su espesor varía mucho, quedando casi imperceptible en la parte central del lago y con unos 5m en las orillas. Este estrato corresponde a un periodo de temperatura alta, asociado generalmente con el periodo interglaciar *Sangamón*.
d) *Serie Arcillosa lacustre inferior (SAI)*. Su composición es similar a la serie arcillosa superior, sólo que es un suelo más consolidado. Su espesor es de unos 15 m en el centro del lago y disminuye hasta casi desaparecer en las orillas.
e) *Depósitos profundos (DP)*. Está compuesto por arenas y gravas aluviales limosas, cementadas con arcillas duras y carbonato de calcio.

[9] SANTOYO, Enrique (2005). *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. México: TGC. p. 59-64
[10] MOOSER (1986) *Op. Cit*. p. 10
[11] SANTOYO, Enrique (2005). *Op. Cit*. p. 59-64

Depósitos de Transición

A medida que se acercan a la zona de lomas, los depósitos de la planicie del valle van cambiando su composición. Se encuentran depósitos lacustres intercalados con capas de suelos limosos, cuerpos de arenas fluviales y en las zonas de desembocaduras de ríos y arroyos se pueden encontrar gravas y boleos. En esta zona, denominada de transición, se encuentran dos tipos de estratos: interestratificada y abrupta.[12]

a) *Condición estratificada del poniente*. Este tipo de estratificación se encuentra en la zona poniente del valle, donde los arroyos vertían sus aguas a los lagos acarreando materiales que se fueron sedimentando en los deltas. De esta forma, la estratificación depende directamente de la temperatura encontrándose, por ejemplo, acarreos fluviales más grandes correspondientes a los glaciares derretidos de los finales de las glaciaciones.
b) *Condición abrupta*. Este tipo de condición la encontramos en lugares cercanos a los cerros que sobresalen al centro del relleno de la cuenca; en el Peñón de los Baños, Peñón de Marqués, Cerro de la Estrella y Cerro del Tepeyac, y están compuestas de la serie arcillosa lacustre mezclada con los lentes formados por la erosión de los cerros vecinos.

Depósitos de Lomas

La zona de Las Lomas es formada por las sierras que limitan a la cuenca al Poniente y al Norte, además de los derrames del Xitle al suroeste, predominando en su composición las tobas compactas de cementación variable y depósitos de origen glacial y aluviones con excepción del pedregal del Xitle, donde sobreyacen basaltos originados de la erupción de ese volcán.[13]

a) *Sierra de las Cruces.* Se constituye de abanicos volcánicos con materiales piroclásticos producto de actividad explosiva (del plioceno Inferior) y transportados por el agua. En esta región encontramos horizontes de cenizas volcánicas de granulometría variable, capas de erupciones pumíticas correspondientes a actividades volcánicas violentas, lahares en forma de acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado, lahares calientes como arenas y gravas azules producto de corrientes impulsadas por gases calientes, depósitos glaciales, fluvioglaciales y fluviales, y suelos producto de alteración de lahares y cenizas.
b) *Pedregal del Xitle*. Hace unos dos mil años el volcán Xitle produjo una extensa colada de lavas basálticas que cubrieron las lomas al pie del Ajusco y que avanzaron por lo que ahora conocemos como pedregales de San Ángel, San Francisco, Santa Úrsula, Carrasco y Padierna. Debajo de estas coladas es probable que se encuentren morrenas y secuencias fluvioglaciales producidas por los glaciales que descendían de la Sierra de las Cruces.
c) *Sierra de Guadalupe*. Se integra principalmente por rocas volcánicas dacíticas y andesíticas formando un conjunto de elevaciones dómicas entre el Tepeyac y Barrientos. Un graben afecta a la sierra en su parte central formando el Valle de Cuautepec, al norte del cual se eleva el Cerro

[12] MOOSER (1986), p. 15 .
[13] *Ídem.* pp. 18, 20,

Tres Padres, la parte más alta de la sierra. La actividad volcánica se remonta hasta el Mioceno Medio y Superior. Las tobas amarillas encontradas en las faldas de las elevaciones son producto de las erupciones violentas que dieron origen a la sierra de las Cruces en el Mioceno y Pleistoceno Inferior.

3. Zonificación

Con la información obtenida de trabajos de exploración y sondeos realizados para diversos proyectos en la Ciudad de México, en 1959 Raúl J. Marsal y Marcos Mazari publicaron *El subsuelo de La Ciudad de México*, en el que por primera vez se realiza una zonificación del área urbanizada con base en las características del subsuelo. Esta zonificación es la que sigue el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en su versión más reciente (RCDF-04).

La cuenca se ha dividido en tres zonas principales: Zona de Lomas, Zona de Transición y Zona de Lago.

Zona de Lomas. Presenta buenas condiciones para cimentar estructuras debido a que la capacidad de carga del terreno es elevada y no existen capas de arcillas compresibles que pueden causar efectos de hundimientos diferenciales. Sin embargo, en esta zona se debe tener especial cuidado con la presencia de galerías o cavidades que se ubican a diferentes profundidades debidos a la explotación de minas de arena y grava.[14] En el RCDF-04 se define como:

> *Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena:*[15]

Zona de transición. En esta zona las condiciones estratigráficas varían en gran medida de un punto a otro. Se encuentran superficialmente depósitos arcillosos o limosos orgánicos cubriendo estratos de arcilla volcánica muy compresibles intercalados con arenas limosas compactas o lentes de arena limpia, los cuales descansan sobre mantos de grava y arena.[16] En esta zona se alternan los estratos arcillosos de los lagos con los suelos gruesos de origen aluvial. Se definió a partir de donde la serie arcillosa inferior desaparece y la capa dura se encuentra a 20m de profundidad.[17] A este respecto, el RCDF-04 dice:

> *Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.*[18]

---

[14] MARSAL, Raúl J. y MAZARI, Marcos. (1959). *El subsuelo de la Ciudad de México*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería. P. 20
[15] Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, (2004). Capítulo VII Art. 170
[16] Ídem.
[17] MOOSER (1986) *Op. Cit*. 29
[18] RCDF-04. *Op Cit*.

Zona de lago. En esta zona encontramos los siguientes estratos: 1. Depósitos areno-arcillosos o limosos, con abundancia de restos arqueológicos, o rellenos artificiales que llegan en algunos puntos hasta los 10m, 2. Arcillas volcánicas de entre 15 y 32m de espesor, con extraordinaria compresibilidad, de variados colores y consistencias entre blanda y media, intercalados con pequeñas capas de arena. 3. Capa Dura conformada por suelos arcillo o limo-arenosos, compactos y rígidos que se encuentran a los 33m de profundidad y tienen un espesor de 3m. 4. Arcillas volcánicas similares a las primeras pero más comprimidas y más resistentes con un espesor variable entre los 4 y 14m. 5. Depósitos de arena con grava, separados por estratos de limo o arcilla arenosa.[19] El RCDF-04 dice al respecto:

> *Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variablese de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.*[20]

Marsal y Mazari dividen esta zona en dos subzonas: la primera abarcando la traza antigua de la ciudad, donde las propiedades pueden variar en gran medida debido a la variabilidad en la historia de cargas del terreno, y la segunda en el área que no ha experimentado cambios en sus propiedades debido a los escasos cambios en las cargas actuantes. Por otro lado, Mooser divide esta zona en tres subzonas: Zona de lago virgen, al poniente de la ciudad y donde las propiedades de los estratos son relativamente uniformes, zona centro I, en la zona centro que se desarrolló a partir de principios del siglo XX y las propiedades representan una condición intermedia entre Lago Virgen y Lago Centro II; y Zona Centro II, donde se presentan propiedades variables debidas a las sobrecargas de algunos puntos en la zona antigua del centro de la ciudad.[21]

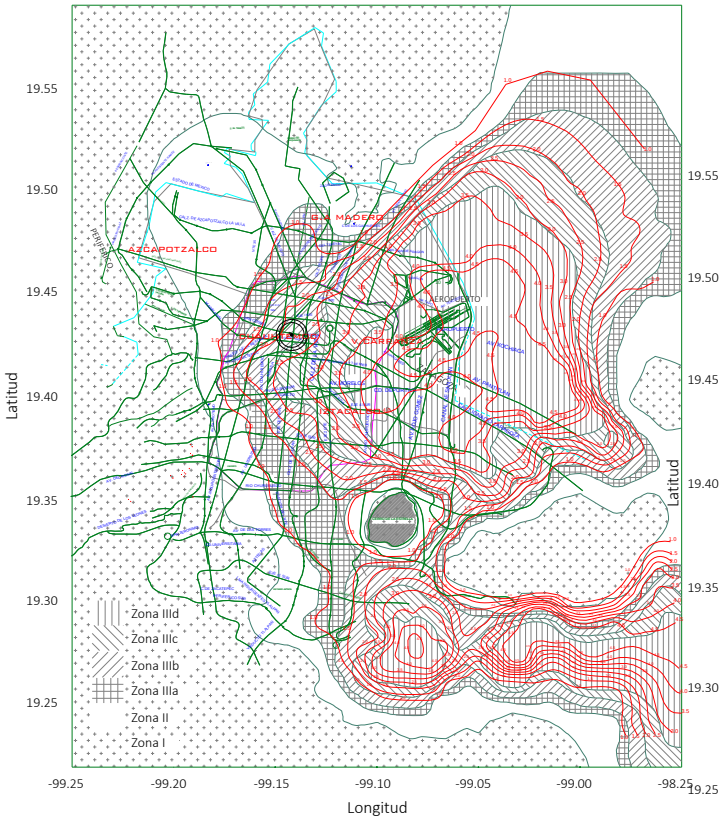


Figura I.3 Zonificación Geotécnica del Valle de México de acuerdo con el RCDF-04

[19] MARSAL y MAZARI (1956). P. 22.
[20] RCDF-04. Op cit.
[21] En el artículo 170 del RCDF-04 y en la sección 2.2 de las NTC-Cimentaciones no se hace esta división, mientras que en las NTC-Sismo, se divide la zona III en cuatro subzonas atendiendo a los diferentes periodos del terreno.

Hasta aquí se ha mencionado la configuración general de la formación y la configuración del subsuelo de la Ciudad de México que conocemos gracias al trabajo realizado a partir de la segunda mitad del siglo XX. Anteriormente, no se contaba con estudios científicos con una base sólida sobre el suelo del valle, y los trabajos de cimentación que se hicieron fueron hechos con base en la experiencia, desde los primeros pobladores del valle hasta empresas extranjeras a principios del siglo XX que aplicaban sus métodos aquí con resultados tan impredecibles que vemos casi en cualquier construcción anterior a 1950 con toda clase de problemas de hundimientos y desplomos. En 1930, el edificio La Nacional fue el primero en alcanzar la capa dura en su cimentación, lo cual tiene un mérito incomparable pues significa un esfuerzo por buscar una base sólida sobre la que se construyó el primer rascacielos en México y de alguna forma, el determinar que se debían colocar pilotes hasta los 30 metros y no sólo a los 10 o 15 metros de profundidad, hace pensar en estudios hechos en el terreno específicamente para el proyecto. Lamentablemente, no fue posible encontrar registros que indiquen por qué razón se ejecutó tal cimentación, pero ese esfuerzo tuvo resultados, y el edificio aún contempla el paso del tiempo como desde hace 80 años.

Figura I.4 La Nacional, el primer rascacielos en México. 1932.

B. Edificaciones en México hasta 1930

- Etapa prehispánica

Los españoles al descender de entre los volcanes de la Sierra Nevada tuvieron la oportunidad de apreciar una ciudad enmarcada en un escenario que según se puede apreciar por los relatos que de ese hecho existen, fue espectacular. La impresión que dejó ese suceso debió haber sido incrementada considerando que estos hombres venían de ciudades como Tlaxcala y Cholula, y no tenían conocimiento de que en el "nuevo mundo" hubiera tal grado de urbanización como el que había sido alcanzado en la ciudad de México-Tenochtitlán. Lo que vieron fue un gran valle circundado por montañas con tupidos bosques de pinos que rodeaban una serie de lagos al centro: de norte a sur, Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Dentro de los lagos sobresalían algunos islotes en los que se encontraban pequeñas construcciones. Tenochtitlán era la capital del imperio Azteca, el más importante de esta región. Era una gran ciudad en cuyo núcleo central se levantaban los templos y edificios principales, rodeada de barrios formados por chinampas más o menos regularmente distribuidas, limitada al oriente por el lago de Texcoco, unida a tierra firme por tres grandes calzadas, al sur la de Iztapalapa que tenía una bifurcación a Coyoacán, la de Tepeyac al norte, y la de Tacuba al poniente. Un gran albarradón corría al centro del lago de Texcoco de norte a sur, dividiendo a éste en dos. Esta obra de Nezahualcóyotl fue concebida para evitar las inundaciones que constantemente azotaban a la gran ciudad pues Texcoco era el más bajo de los lagos, y cuando acontecían lluvias torrenciales, los otros lagos depositaban sus excedentes sobre él.

Los templos fueron el centro de la vida política y social, y por tanto las construcciones más importantes en esa época, así como las de mayor altura pues simbolizaban el poder que la civilización tenía sobre los otros pueblos, acercando a los hombres al cielo y al sol. Las forma eran simples, geométricas y su estructura era a base de taludes hechos con piedra, que le brindaban estabilidad a la construcción.

El Templo Mayor tenía una base de 76.6 m de norte a sur y 83.5 m de este a oeste. Se componía de 5 cuerpos de talud dejando un angosto pasillo entre uno y otro. La escalera ocupaba casi todo el frente y estaba limitada por anchas alfardas, dividida en dos partes por una doble alfarda central. Los escalones se han estimado en promedio en un número de 113 o 114, así que considerando una altura del escalón un

Figura I.5 Vista idealizada de la cuenca del Valle de México ca. 1521. Tomas Filsinger, 2009

poco mayor a 25 cm resulta una altura total de la pirámide de unos 30 metros. Tenía dos templos ubicados en la parte superior. Al norte estaba el dedicado a Tláloc, y el del sur a Huitzilopochtli. La base y los muros verticales de los templos eran de mampostería, los techos inclinados eran formados por un armazón de vigas de madera revestidos por un grueso aplanado decorado con cal.[22,23]

- *Etapa novohispana*

El 8 de noviembre de 1519 tuvo lugar el encuentro entre Hernán Cortés y Moctezuma II. El 13 de agosto de 1521, casi dos años después, la ciudad fue sitiada hasta que fue derrotada entre otras causas por la falta de agua dulce, la escasez de comida y las enfermedades que trajeron consigo aquellos hombres de oriente.

Figura I.6 Tlatelolco: Ruinas del antiguo centro ceremonial, Iglesia de Santiago Tlatelolco, finales del siglo XVI, Conjunto Urbano Nonoalco-Tlatelolco, 1964. OMG, 2013.

Al ir avanzando Cortés y sus hombres en el sitio de la ciudad, fueron derribando las casas para llenar con los escombros las zanjas que se les interponían, proporcionando un paso más o menos firme para sus caballos. Posteriormente, la escasez de material aunado al deseo por destruir completamente el recuerdo de la antigua ciudad de Tenochtitlán, obligó al desmantelamiento de los edificios para la construcción de las nuevas casas de los españoles.

La decisión de construir la capital de la Nueva España sobre la antigua ciudad azteca fue hecha por el mismo Hernán Cortés. La traza de la nueva ciudad se le encargó al alarife Alonso García Bravo quien realizó una división ortogonal orientada hacia los cuatro puntos cardinales, siguiendo el esquema de la ciudad de Tenochtitlán. Sobre templos prehispánicos e incluso utilizando sus mismos materiales se comenzaron a construir pequeños palacios. Estos nuevos señores no tardaron en percatarse de que el suelo sobre el que construían no tenía las características de resistencia para soportar las nuevas construcciones, así que métodos como la inclusión de pilotes de madera para evitar los hundimientos en las nuevas edificaciones fueron empleados en varias ocasiones, sugeridos sin duda por los constructores indios, quienes tenían más experiencia tratando con este suelo. A pesar de esto, todos esos esfuerzos

[22] MARQUINA, Ignacio. (1951) *Arquitectura Prehispánica*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. p.180-190.

[23] La referencia anterior es de un notable arquitecto que se dedicó al estudio de la arquitectura prehispánica a principios del siglo XX. El libro consultado es de 1951, fecha anterior al descubrimiento de Coyolxauhqui en febrero de 1978, hecho con el cual se iniciaron las excavaciones que llevaron al redescubrimiento del recinto sagrado, por lo que sus datos son sólo aproximaciones. Actualmente se dice que el templo llegó a tener una altura de 60 m. De cualquier forma, su presencia debió dominar el valle de la esplendorosa ciudad de México-Tenochtitlán.

resultaron insuficientes pues los problemas de hundimientos persistieron y son evidentes hasta nuestros días en las edificaciones que se conservan.

Las primeras construcciones que realizaron los españoles en la Nueva España después de 1521 fueron las *atarazanas*, estructuras similares a fuertes, en forma de murallas, con las que pretendieron defenderse de alguna rebelión de los indios. Durante los años siguientes al siglo XVI y con el arribo a estos territorios de las diferentes órdenes religiosas, se comenzaron a construir sobre extensos solares gran cantidad de templos religiosos. De aquellos templos sólo sobreviven los nombres pues la mayoría han sido reconstruidos en una o varias ocasiones a lo largo de los siglos XVII y XVIII. El templo y convento de *San Francisco*, el templo y convento de *Santo Domingo*, El templo de *San Agustín* y el templo de *La Merced* son sólo algunos ejemplos de los muchos templos y conventos construidos en la ciudad, creados durante el primer siglo de la dominación española.

Figura I.7 Claustro del convento de La Merced, construido a finales del siglo XVII. OMG, 2009

Algunos de los materiales de construcción que se incorporaron fueron el tepetate, el tezontle, el ladrillo cocido, la argamasa de cal y arena. Los techados de ladrillo delgado cocido sostenido sobre trabes o vigas de madera, así como el hincado de troncos, como base de cimentaciones, fueron práctica común durante los siglos XVI y XVII gracias a la abundancia de madera en el valle.[24]

El hospital de Jesús es un buen ejemplo de las primeras construcciones ejecutadas en la ciudad. Fundado en 1524 por Hernán Cortés, muestra los sistemas constructivos adaptados por los españoles que fueron el precursor del estilo de casas y palacios construidos posteriormente. Hoy sobrevive el patio central con columnas de piedra y arcos de medio punto que se distribuyen en dos pisos de la construcción más antigua. Los techos fueron resueltos con vigas de madera y ladrillo cocido. Un detalle atractivo del edificio que muestra su antigüedad es el mural que aún conserva motivos prehispánicos como el *tlahtōlli* o símbolo del habla; y un águila que puede considerarse como el primer símbolo novohispano que recuerda la fundación de la ciudad.

Figura I.8 Detalle del mural en el Hospital de Jesus, donde se aprecia un hombre con el tlahtölli y un águila que recuerda la fundación de la Ciudad de México. OMG, 2009

La religión formó una parte fundamental en la conquista y durante la colonia, por lo que se le dio gran importancia a las construcciones dedicadas a la vida religiosa. La primera catedral que se construyó en la

[24] LEÓN López, Enrique G. (1974) *La Ingeniería en México.* México: SEP. p. 30.

ciudad en 1530 se localizó en el mismo lugar en que se levanta la Catedral Metropolitana en la actualidad. Fue un templo pequeño, construido de oriente a poniente, que media en toda su longitud casi lo que ahora mide la fachada de la nueva catedral. Contaba con tres naves cubiertas: la central con una armadura de media tijera y las laterales con vigas horizontales. Dado que este templo no cumplía las necesidades de la capital de la Nueva España, en 1573 siendo Arzobispo el señor Don Pedro Moya de Contreras y Virrey Don Martín Enriquez, se colocó la primera piedra para la edificación de la actual Catedral. En un principio se planeó con la misma orientación de la vieja capilla con el altar mayor hacia el oriente, pero debido a las malas condiciones de los suelos del lugar, se decidió girarla en dirección norte-sur aprovechando los suelos preconsolidados por las construcciones aztecas. Esto originó problemas graves de hundimientos variables debido a la compresibilidad desigual del terreno. En la cimentación se tardaron 42 años y para ella, el alarife Claudio de Arciniegas empleó una retícula de pilotes de madera de oyamel de 20 a 25 cm de diámetro y de 2.2 a 3.2 m de longitud, colocados aproximadamente a cada 60cm por lo que aproximadamente fueron colocadas 22500 piezas. Sobre los pilotes se colocó un firme de mortero a base de cal y arena de 30 cm de espesor, colocado sobre una delgada capa de carbón cuya función específica se desconoce. Finalmente, se colocó un pedraplén de 0.9 m a 2 m de espesor de mortero de cal y arena con roca basáltica y tezontle, apoyándose sobre éste una retícula de contratrabes de mampostería de 3.6 m de peralte y 2.0 m de ancho, sobre las que se desplantaron las columnas y los muros. Los huecos fueron llenados con tierra. Posterior a la cimentación desde la cual comenzaron a verse los problemas de hundimientos, se construyeron las bóvedas concluidas en 1667. La portada fue terminada en 1672 y las torres, finalizadas en 1792. Los asentamientos acumulados por más de cuatro siglos han generado un diferencial máximo de 2.42 m entre el ábside y las torres, y 1.25 m entre ambas torres.[25,26]

En 1629 ocurrió una serie de lluvias torrenciales que ocasionaron una gran inundación que provocó grandes daños en las construcciones de la ciudad. Este acontecimiento es la razón principal por la que pocas de las construcciones del siglo XVI sobrevivan hasta nuestros días. El agua permaneció en las calles de la ciudad hasta 1634 y el hecho fue de gravedad tal que el Rey Felipe IV ordenó abandonar la ciudad moviendo la capital de la Nueva España a unos llanos entre Tacuba y Tacubaya. El virrey comunicó estas órdenes al ayuntamiento y a los pobladores, quienes las rechazaron argumentando que el valor de las propiedades urbanas era tan grande que preferían quedarse, resolviendo realizar las obras necesarias para evitar que la ciudad se volviera a inundar. Este suceso confirmó el deseo de muchos por desecar los lagos que se veían como una amenaza constante para la ciudad, por lo que los trabajos que hasta la fecha se habían hecho para drenar los lagos se continuaron y mejoraron. A pesar de los múltiples problemas técnicos, económicos y ambientales que esa empresa representaba, lentamente el nivel de los lagos se

[25] SANDOVAL, Pablo de Jesús y ORDÓÑEZ, José. (1938) *La Catedral Metropolitana de México*. México: Ediciones Victoria.

[26] SEDESOL. (1992). *La Catedral Metropolitana y el Sagrario de la Ciudad de México, correcciones del comportamiento de sus cimentaciones*. México:SMMS. 70p.

alejaba de los límites de la ciudad, alterando las condiciones climáticas y las propiedades del suelo debajo de las construcciones.[27]

Durante el siglo XVII y XVIII los templos destruidos por inundaciones y temblores frecuentes en la región, se reconstruyeron, al tiempo que otros nuevos se añadían. Grandes palacios propiedad de condes, dueños de minas y otras personas adineradas se construyeron siguiendo los mismos métodos y usando los mismos materiales. Generalmente estos palacios contaban con dos o tres niveles que se elevan en torno a un patio central que proporcionaba luz y ventilación a las distintas habitaciones. La ciudad conserva gran cantidad de ejemplos notables de estos siglos entre los que se pueden mencionar el Palacio de Iturbide y la Casa de los Azulejos.

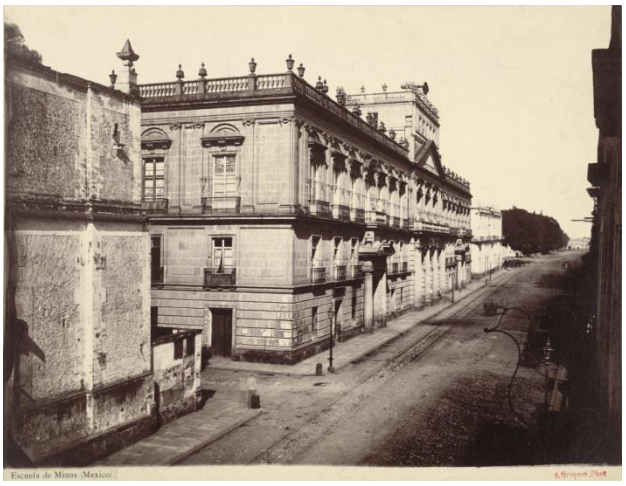


Figura I.9 Colegio de minería a mediados del siglo XIX. Estilo neoclásico.

Para el siglo XVIII, los arquitectos con formación académica recurrieron al estilo neoclásico en las construcciones siguiendo las tendencias europeas, haciendo a un lado el pasado barroco que logró desarrollarse extraordinariamente el siglo anterior, sustituyéndolo por las líneas que recuerdan a los antiguos templos griegos y romanos. El arquitecto Manuel Tolsá fue quizá el mayor exponente de este estilo, entre sus obras se encuentran los altares de templos como el de *La Profesa* y en las últimas etapas de construcción de la Catedral Metropolitana. Su obra más representativa es el Colegio de Minería, antecedente de la hoy Facultad de Ingeniería que se levantó sobre el solar de Nilpantongo en 1797 tras haberse aprobado el proyecto para la nueva sede del Real Seminario de Minas. Para su construcción, como era frecuente, se hincaron algunos pilotes de madera para mejorar las condiciones del suelo, y se utilizó piedra en la totalidad de la edificación, prescindiendo del tezontle. Debido al sobrepeso que la construcción implicaba, el edificio comenzó a presentar hundimientos diferenciales que aún se pueden observar en los patios interiores y en las calles aledañas alcanzando hundimientos de más de un metro en algunas secciones. El seminario se trasladó en 1811 pero el edificio se terminó hasta 1813, durante los años del enfrentamiento por la Independencia de México. Por los mismos años se concluyó también la Catedral, y junto a la fundición de la estatua ecuestre a Carlos IV, también de Tolsá, fueron las últimas obras de importancia que se hicieron en la metrópoli bajo la dominación española.[28]

Las torres de la Catedral coronaron la ciudad desde su conclusión en 1792 y fueron la estructura de mayor altura levantándose hasta los 60 m sobre la plaza mayor.

[27] TELLEZ Pizano, Adrián. (1899) *Apuntes acerca de los cimientos de los edificios de la Ciudad de Mexico.* México: Imprenta del Gobierno Federal en el Ex-Arzobispado. p. 31

[28] *Idem*. p. 27.

Figura I.10 Litografía que muestra el proyecto original de Lorenzo de la Hidalga para el Monumento a la Independencia. Tomado de ref. 29

- Etapa independiente

A mediados del siglo XIX, terminada ya la lucha de independencia, establecida la República e iniciada la reconstrucción de México, Antonio López de Santa Anna planteó la construcción de un "monumento que recordase las acciones heroicas y campañas relativas a la Independencia mexicana". Éste se localizaría en la plaza principal de la ciudad, donde se encontraba el mercado del Parián. Para el año de 1843 el mercado había sido demolido, se había reorganizado la Academia de San Carlos, y a esta se le encargó convocar a un concurso para construir el monumento que debía ser "una columna honoraria colocada sobre un pedestal, revestida de mármol, con adornos de bronce doras; y coronando el todo, una escalera de caracol hasta la estatua; y en las caras del pedestal, bajorrelieves con temas de las acciones que condujeron a la Independencia"[29]. El concurso fue ganado por el arquitecto francés Enrique Griffon aunque Santa Anna decidió construir el proyecto de Lorenzo de la Hidalga. En 1843 se realizó la excavación a 2.7 metros y se hincaron estacas de cedro de 6 m de longitud y 30 cm de diámetro, sin embargo, las obras se interrumpieron debido a la inestabilidad política del país que comenzaba por aquellos años, habiéndose construido sólo el zócalo del monumento.[30]

Por esos años, el mismo arquitecto Lorenzo de la Hidalga construyó el Teatro de Santa Anna, estrenado en 1844 y para el cual propuso una cimentación especial compuesta por un cajón de estacas y tablestacas que se rellenó con capas de arena. Este tipo de cimentación resultó bastante efectivo, pues resistió los temblores que ocurrieron en la segunda mitad del siglo XIX. El teatro fue demolido en 1901 para abrir la calle 5 de mayo, por lo que no podremos saber qué tan bien se hubiera podido comportar el edificio subsecuentemente, sin embargo, queda como antecedente del empleo de diferentes métodos ideados en la búsqueda constante para contrarrestar el suelo poco competente sobre el que se levanta la ciudad.

El país pasó por varios periodos de inestabilidad política en la segunda mitad del siglo XIX, lo cual se ve reflejado en las construcciones de la época. Las Leyes de Reforma obligaron a muchas órdenes religiosas a vender sus terrenos, perdiéndose una gran cantidad de construcciones religiosas de valor histórico

[29] SÁNCHEZ MEJORADA DE GIL, Alicia. (1990). *La Columna de la Independencia*. México: Editorial Jilguero. p. 12-13
[30] LEÓN, (1974) *op cit.* p. 31

incalculable. Por otro lado, la decisión de abrir nuevas calles en el centro de la ciudad provocó la demolición de algunos otros edificios, mientras otros eran levantados en los lugares que dejaban las viejas construcciones, cambiando en gran medida el rostro de la ciudad orientado más hacia lo que conocemos en el siglo XXI.

Hacia 1888 comenzó la construcción de un edificio que marcaría todo un paradigma en la construcción en la Ciudad de México: El *Palacio de Hierro*. El concepto de la tienda fue inspirado en la tienda *Au Bon Marché*, que en 1852 instauró el nuevo sistema de comercio conocido como tienda departamental y cuyo edificio original fue sometido a varias ampliaciones, en una de las cuales participó el ingeniero Eiffel, usando el hierro como sistema constructivo. El edificio inicial en el que se albergó el *Palacio de Hierro* contaba con 5 niveles y tenía un pabellón central de hierro forjado. En esos años fue de las construcciones que dominaban el horizonte de la ciudad en cuanto a altura se refiere. Fue diseñado por los arquitectos Ignacio y Eusebio de la Hidalga con la ayuda del ingeniero francés Mr. Pierón. Los elementos de hierro fueron hechos por la fundición parisina de Moisan. El edificio tuvo los primeros ascensores instalados en México. Para la cimentación, se utilizó un emparrillado de fierro con una profundidad de 3.25 m. Se colocaron dos rellenos, el primero de piedra y pedacería de ladrillo y el segundo con mampostería de piedra y sobre éstos se colocaron hileras perpendiculares de un par de rieles unidos por el patín con remaches. El edificio fue concluido e inaugurado en 1891, sin embargo, en 1914 fue destruido por un incendio que se inició en uno de sus aparadores y un nuevo edificio lo sustituyó.[31]

- *Porfiriato*

Durante el Porfiriato, la ciudad se extendió más allá de la vieja zona colonial, creándose las colonias Guerrero, Juárez, San Rafael y Santa María la Ribera, que albergaron chalets y palacetes de influencia europea construidos por las familias que buscaban en estos nuevos desarrollos una mejor calidad de vida y pocos de los cuales aún podemos observar. La tendencia constructiva de esta época se ve reflejada en mayor medida en los grandes edificios gubernamentales que se construyeron al finalizar el siglo XIX y comenzar el XX. Con un estilo ecléctico, estos edificios optaban por la majestuosidad y la masividad en una constante exploración por la representación de la solidez del gobierno del general Díaz. Como ejemplos de estos edificios tenemos el *Palacio de correos* (1902), *Palacio de*

Figura I.11 Trabajos finales del palacio de Bellas Artes. *Revista de revistas*, Enero 1932.

[31] MARTINEZ Gutierrez, Patricia. (2005) *El palacio de Hierro arranque de la modernidad arquitectónica en la Ciudad de México*. México: Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM. p.43

Comunicaciones (1907), *Manicomio La Castañeda* (1909) la penitenciaría de *Lecumberri;* y proyectos inconclusos en esa época como el *Palacio Legislativo* de Emile Benard y el *Teatro Nacional* de Adamo Boari, ambos proyectos suspendidos por la Revolución.

El Teatro Nacional es de los edificios cuya construcción ha tenido más altercados e inconvenientes en la ciudad. Como se mencionó con anterioridad, el viejo teatro de Santa Anna fue demolido en 1901 y dio lugar a una serie de planes para sustituirlo por un nuevo Teatro Nacional. El proyecto elegido fue el presentado por el arquitecto italiano Adamo Boari, quien lo diseñó con un estilo Art Nuveau acorde al pensamiento de la aristocracia porfiriana que buscaba su identidad en el estilo europeo.

Para la cimentación, se solicitaron los servicios del arquitecto consultor especialista W. H. Birkmire, de Nueva York, quien optó por el sistema de emparrillado de viguetas, relleno de concreto, para formar la llamada "plataforma flotante", que había dado buenos resultados en el *Palacio de Hierro*. Una vez que fueron concluidas las demoliciones de construcciones anteriores, entre las que se encontraban el convento de Santa Isabel, la constructora, la casa Milliken Brothers, de Chicago, comenzó la cimentación en 1905. El esqueleto metálico fue calculado también por el arquitecto Birkmire y construido de igual forma por la casa Milliken a mediados de 1906, sin embargo, excediendo considerablemente la resistencia del suelo al descargar más de 2 kgf/cm² [20 tonf/m²], el edificio comenzó a hundirse a medida que se seguía con la construcción. En un intento por evitar más hundimientos y para consolidar el terreno, se creyó conveniente la construcción de una ataguía que rodeara la plataforma así como inyectar el terreno con una mezcla de cemento y lechada de cal grasa. Para agosto de 1911 se habían aplicado ya 20 inyecciones con 950 toneladas de cemento, pero a pesar de estos esfuerzos el edificio descendió entre 1.3 y 1.8 metros. En los años siguientes, la situación política del país obligó a detener este proyecto, y en los años que le siguieron poco más se construyó hasta que el proyecto fue retomado tiempo después.[32]

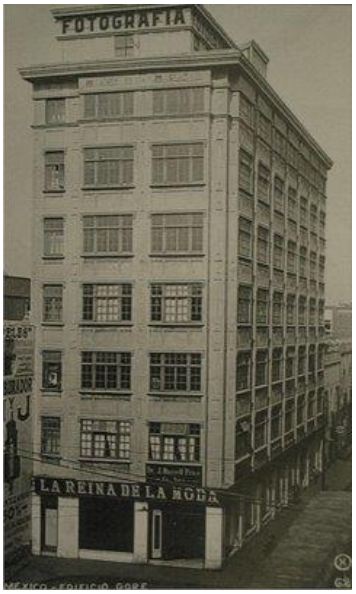


Figura I.12 Edificio *Gore*, conocido también como *Hoja de Lata* ca. 1911-1934. *Alquimia*, Septiembre de 1999.

En la esquina de las entonces llamadas calles de San Juan de Letrán y Nuevo México hoy Eje Central y Artículo 123, se levantó el misterioso edificio Gore, conocido también como Hoja de Lata. Al parecer, fue concluido en 1911 con un sistema estructural parecido al del Palacio de Hierro, superando a éste último en altura con sus 7 pisos. Fue conocido en la época por el gran anuncio de su último piso que promocionaba el estudio fotográfico "Marst", de Heliodoro J. Gutiérrez establecido en ese piso. Poco se sabe acerca de este inmueble, pues su efímera existencia terminó al ampliarse la avenida San Juan de Letrán en 1934, sin embargo su estilo es similar al de los edificios de la incipiente escuela de Chicago.

[32] GOROSTIZA, José. (2007) *El Palacio de Bellas Artes. Edición Facsimilar de El Palacio de Bellas Artes / informe que presentan al señor Ing. Marte R. Gómez, Secretario de Hacienda y Crédito Público los directores de la obra, señores Ing. Alberto J. Pani y Arq. Federico Mariscal*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes.

Tiene similitud con el edificio Woodrow en cuanto a lo austero de sus ornamentos. Es importante mencionar su existencia porque en su momento dominó junto a las torres de los conventos el paisaje de la metrópoli.[33,34]

- *Revolución*

La Revolución trajo consigo una serie de conflictos que detuvieron el desarrollo y afectaron la infraestructura de todo el país. Los conflictos en la lucha por el poder llegaron a la ciudad en 1913 cuando ocurrió la *decena trágica*. Pocas construcciones fueron levantadas durante esos años.

Una vez establecidos los gobiernos constitucionalistas posrevolucionarios, se promovió un tipo de arquitectura muy distinto al del régimen que acababa de terminar. De esta forma, los arquitectos experimentaron con una estética nacionalista que estuviera más cercana al pueblo mexicano, un tipo de arquitectura que retomaba los materiales y las formas coloniales y en no pocas ocasiones, prehispánicas. De los años veinte son muchas las construcciones que adoptaron esta estética en sus fachadas. Sin embargo, al mismo tiempo se estableció una relación muy estrecha con una naciente arquitectura moderna europea: la llamada *Art Déco*:

> "Lo mejor de esta arquitectura buscaba renovarse, librándose de un pasado colonizado, incorporando técnicas y materiales simples y accesibles para lograr un resultado sencillo, digno y creativo. Es en esto donde radica su principal valor. Constituyen, como conjunto, un legado histórico importante de conservar y son sobre todo el comienzo de la arquitectura moderna en México"[35]

La secretaría de salubridad (1925), el edificio de bomberos (1928), el frontón México y la Fundación Mier y Pesado (1929), el edificio ermita (1930), el banco de México (1934), son ejemplos de edificios afines a esta estética *Déco*, misma que no se limitó a las edificaciones sino que se extendió hasta los elementos de mobiliario urbano, logrando una integración urbana cuyo máximo ejemplo lo encontramos en el Parque México (1927). Así nacen nuevos fraccionamientos que extienden más la ciudad, como la Condesa, Hipódromo y Clavería, que en las siguientes décadas fueron consumidos por numerosas colonias que satisfacían la demanda de viviendas de los habitantes que crecían en número, y que eran producto de una política centralista.[36]

[33] http://losprotagonistashjgdoc.blogspot.mx/2009/06/edificios-de-hoja-de-lata.html
[34] NEGRETE, Claudia. *El edificio Gore y la fotografía Marst* en la revista Alquimia, Año 3, Núm.7, sep/dic 1999.
[35] TOCA, ANTONIO (1982): Arquitectura posrevolucionaria en México 1920-1932, en *Apuntes para la historia y crítica de la arquitectura mexicana del siglo XX*. I. México: Cuadernos de arquitectura y conservación del patrimonio artístico. p 65.
[36] Idem. p.63

Figura I.13 La Nacional. ca. 1934. El automóvil formaba parte de la vida cotidiana.

Es durante estos años y con estos antecedentes que se construye el edificio de seguros La Nacional, en una Ciudad de México en la que el automóvil era ya parte de la cotidianeidad pero que aún no se vislumbraba la problemática de espacio que provocaría. Una serie de tranvías circulaban transportando a los habitantes hacia casi cualquier parte de la conglomeración urbana que aún era limitada. El campanario de la Catedral Metropolitana aún era la construcción más alta. La Nacional compañía de seguros encargó a los arquitectos Manuel Ortiz Monasterio, Bernardo Calderón y Luis Ávila la construcción de un edificio que albergara sus oficinas, maximizando el uso del terreno que adquirieron en la esquina de la Avenida Juárez y San Juan de Letrán, la cual sufriría dos años más tarde una ampliación que terminó con varios edificios: el convento de Santa Brígida y el edificio Hoja de Lata entre ellos, y que mostraba el optimismo que se tenía por el desarrollo en el país. La metrópoli crecía rápidamente y se adaptaba a los nuevos tiempos y a las nuevas tecnologías. La idea del primer rascacielos en México ya había estado en la cabeza del arquitecto José Luis Cuevas con su proyecto para el edificio en Juárez y Dolores, mismo que nunca logró concretarse. Finalmente quien se ganó el título del primer rascacielos en México fue el edificio de La Nacional.

1. Cimentaciones

Figura I.14 Pilotes de madera utilizados como cimentación encontrados en el Templo Mayor de la Ciudad de México. OMG, 2013.

En el Valle de México el uso de pilotes como medio para mejorar las condiciones del suelo tiene su origen en la época prehispánica. Los pobladores aztecas después de un largo peregrinaje por el territorio mexicano arribaron al Valle del Anáhuac, ocupado ya por varios grupos, y después de establecerse en un sitio y otro que les fuera permitido, fundaron su ciudad en 1325 sobre unos peñascos rodeados de pantanos y con no mayor vegetación que carrizos. Se vieron en la necesidad de implantar un método constructivo conocido como chinampas, utilizado por los habitantes de los lagos desde antes del siglo I. Las chinampas son islotes artificiales que se construían hundiendo pilotes de madera, generalmente sauce, hasta el fondo del lago y colocando capas de tierra, lodo y lirios, lo cual otorgaba las propiedades fértiles propicias para la siembra de flores y frutos.[37]

Sobre las chinampas los aztecas construyeron casas y jardines. También fueron utilizadas para construir los grandes templos y las calzadas que comunicaban la ciudad con las orillas del lago. Los templos fueron hechos con piedra, lo cual hacía que las construcciones fueran muy pesadas y sufrieran hundimientos, obligando a los constructores a realizar un tratamiento para mejorar el suelo, generalmente utilizando troncos de árboles a fin de evitar esas deformaciones que sin duda fueron una de las causas principales por las que era práctica común el construir nuevas pirámides una sobre la otra además de mostrar la prosperidad de los gobiernos tlatoani.

Según una publicación de 1890 del ingeniero Adrián Téllez Pizano titulada *Apuntes acerca de los cimientos de los edificios de la Ciudad de* México, considerada por algunos como el primer libro de cimentaciones de México, hasta esos años se habían empleado en la ciudad 5 sistemas de cimentaciones: pilotes, emparrillado, bóvedas inversas, arena, y el más usado de 40 años a la fecha (1850-1890) consolidación del terreno por medio de capas sucesivas, apisonadas, de piedra dura, pedaceria de ladrillo y mezcla terciada.

[37] GARCÍA Quintana, Josefina y ROMERO Galván, José Rubén. (1978). *México Tenochtitlan y su problemática lacustre*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas. (Cuaderno. Serie Histórica, 21)

- *Pilotes*

Respecto a los pilotes, la publicación afirma que su concepción había sido originada tomando en cuenta diversos aspectos y no existía un acuerdo claro sobre su funcionamiento por tanto, de su eficacia. Había quienes consideran los pilotes como ramas o raíces que sirven "para ir a buscar a través de un mal fondo una capa sólida", evidentemente refiriéndose a su concepción como pilotes de punta. También se comenta que otros pensaban que son propicios para sostener el peso de un edificio "por el efecto de la suma de los rozamientos que sufren en el suelo", haciendo referencia al concepto que ahora llamamos pilotes de fricción. Asimismo, se menciona que otros lo consideraban como un medio de comprimir el suelo en todos los sentidos alrededor de ellos para formar una masa más compacta. Como conclusión, se dice que este tipo de cimentación "no tiene eficacia alguna en nuestro suelo" argumentando que es difícil su colocación ya que en los primeros pilotes que se introducen en el suelo todo parece bien, pero cuando se introducen los demás, los que fueron colocados primero, empiezan a emerger. Además comenta que cuando el martinete no permite un hundimiento del pilote mayor, si pasadas unas horas se le golpea de nuevo, el pilote cede de nuevo hundiéndose aún más, ocasionando incertidumbre sobre las condiciones en que se puede aceptar que el pilote haya alcanzado una capacidad de carga aceptable.

Figura I.15 Penitenciaría del Lecumberri. 1901. OMG, 2013.

Dentro de los ejemplos que el autor proporciona sobre construcciones en las que se haya empleado este sistema menciona la Catedral Metropolitana, el Palacio de Minería, el Zócalo de la Plaza, de los cuales ya se ha hablado, así como en la Penitenciaría (Lecumberri). Sobre este último indica que se hicieron excavaciones hasta los 2 o 3 metros, para construir un emparrillado de madera sobre el que se desplantarían los muros. Se descubrió una tierra salitrosa (costra superficial) debajo de la cual se encontró una capa fangosa (serie arcillosa superior) hallándose la capa de tepetate a una profundidad de 40 o 45 m (capa dura). Dadas estas condiciones, se decidió utilizar pilotes de cedro de 4 m de longitud y un diámetro entre 25 y 30 cm hundidos con 15 a 20 golpes de un martinete de 1000 kgf que se dejaba caer de una altura entre 6 m y 7.5 m, creando en cada golpe una presión de 40 toneladas de fuerza y que según los cálculos equivalían al peso de los muros que se construirían. Encima de los pilotes se colocó el emparrillado de madera de cedro de 4 m de largo con sección de 25 cm X 30 cm. A pesar de estos trabajos, se vio un hundimiento máximo relativo de 87 cm, por lo que se procedió a emplear otros métodos para lograr disminuir esos hundimientos siguiendo dos acciones principales: 1. Reduciendo el ancho de los muros y empleando materiales más ligeros y, 2. Aumentando la cimentación aplicando el sistema de bóvedas inversas con lo que la carga que se estaba aplicando de 767 grf/cm² [7.67 tonf/m²] se redujo a 408 grf/cm² [4.08 tonf/m²]. Es importante recordar que este edificio se localiza en la zona de lago por lo que esos hundimientos son típicos de una construcción tan pesada en ese suelo.

Otro ejemplo notable del uso de pilotes como cimentación, es cuando dentro del marco de los festejos del Centenario del inicio del Movimiento por la Independencia de México, se proyectó el *Ángel de la Independencia*, retomando el deseo de Santa Anna. El proyecto para el nuevo monumento fue cimentado originalmente sobre una losa de concreto, sin embargo, éste falló cuando se construía el capitel de la columna, por lo que fue necesario desmontar lo que se había construido y recimentar, esta vez usando 4652 pilotes de unos 20 m de longitud a los que se les consideró una capacidad de carga de 2 tonf.

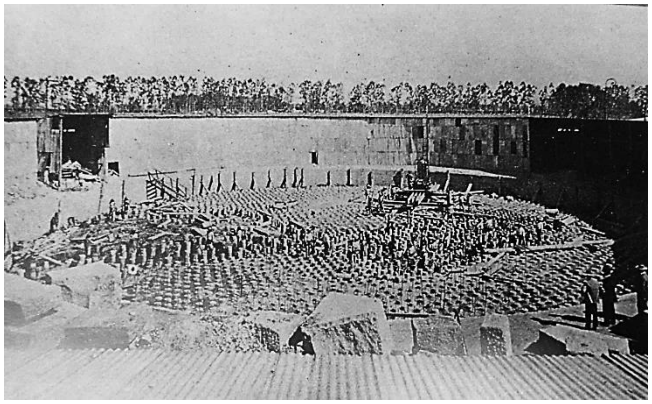


Figura I.16 Bosque de pilotes de concreto para cimentar el Angel de la Independencia. 1908.

- *Emparrillado*

Este método de cimentación consiste en colocar una serie de piezas llamadas largueros en una retícula ortogonal, rellenando los espacios con cemento o con tierra apisonada. El libro de Pizano indica que este sistema se recomienda en terrenos cuyo suelo sea homogéneo, para que los asentamientos sean uniformes. De igual forma, indica que su empleo es mejor en un ambiente húmedo constante ya que cuando se encuentran alternadamente periodos secos y húmedos, los largueros se pudren pronto.

El empleo de emparrillados de madera fue conocido en la época colonial y varios conventos se erigieron con este sistema, como el convento del Carmen y contemporáneo al libro del Ing. Pizano, el Hotel Humboldt. La hipótesis de trabajo de este sistema es que se amplía el área de cimentación y las descargas al suelo son menores. Las ventajas que tiene son que resultan más económicos y que su construcción es más pronta y fácil.

La expansión del uso del fierro como material de construcción alcanzó incluso a las cimentaciones, y cuando la economía lo permitía, se recurrió al fierro para los largueros de los emparrillados. Ejemplo de emparrillados de fierro es el *Palacio de Hierro,* del que ya se mencionó que se utilizaron rieles de tren como largueros; o la casa Boker, inaugurada en 1900 donde se utilizó un emparrillado con una

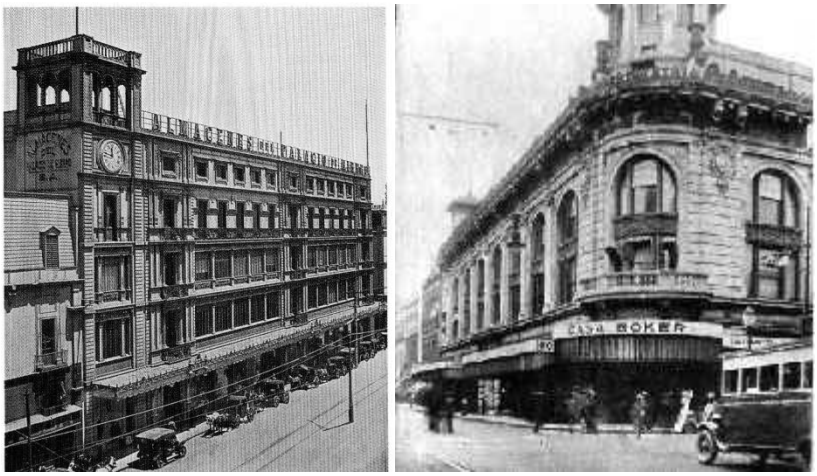


Figura I.17 Palacio de Hierro (izq.) y Casa Boker (der.), edificios cimentados con un sistema de emparrillado de acero.

capa de 2 metros de espesor hecha con bultos de cemento acumulados unos sobre otros y humedecidos en las bolsas para que fraguaran. La principal desventaja de usar el fierro es que resultan más caros que los emparrillados de madera aunque, como concluye Pizano, "los emparrillados son muy apropiados al suelo de México, pues hay edificios sobre ellos apoyados cuyas construcciones datan de más de tres siglos".

- *Bóvedas inversas*

Este método de cimentación ha sido poco utilizado debido a lo costoso y a lo delicado de la constricción. Se emplea cuando se desea sostener pilastras o columnas dispuestas en ejes paralelos. Consiste en unir la base de las columnas, formando una red cuadrangular. Cuando se tienen muros paralelos se utilizan bóvedas inversas. La iglesia de San Felipe de Jesús es un ejemplo de construcción cuya cimentación es de este tipo. En años más recientes, varios de los edificios del Centro Urbano Nonoalco Tlatelolco se solucionaron con cascarones bajo el principio básico de las bóvedas inversas, y se rellenaron de agua tratando de equilibrar los pesos de tierra removida. Este fue uno de los tantos métodos usados en dicho centro urbano y a pesar del derrumbe de dos de las tres partes del edificio Nuevo León tras el terremoto de 1985, que algunas de las torres tuvieron que ser demolidas, y que varios de los edificios presentan desplomos evidentes, no se puede concluir que es un método inadecuado, muchos otros factores (constructivos, económicos) han influido en que no se hayan vuelto a utilizar.[38]

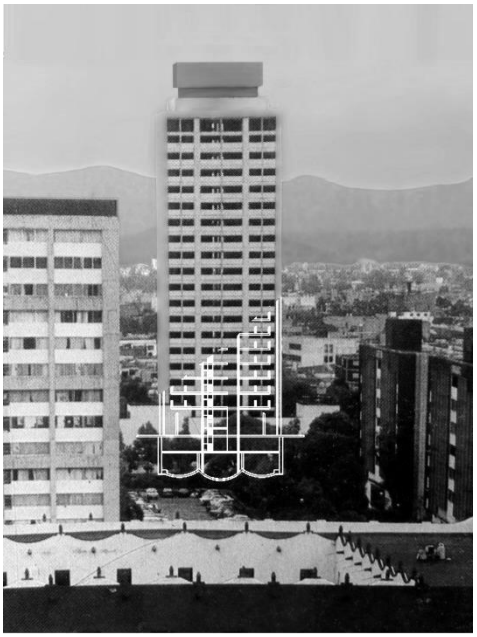


Figura I.19 Uso de bóvedas inversas en la Unidad Habitacional Nonoalco - Tlatelolco (1964)

Figura I.18 Antiguo Teatro Nacional (Antes Santa Anna), cimentado con un cajón de arena (demolido).

- *Arena*

El único caso en que se utilizó un cajón de arena como cimentación es en el Teatro Nacional del cual ya se mencionó en la sección anterior. La idea de esta solución fue de Lorenzo de la Hidalga, quien tomando en cuenta la incompresibilidad que tienen las arenas, formó unos cajones con estacas y tablestacas unidos fuertemente de forma que soportasen todo el peso de la construcción, excavó el suelo en el cajón y reemplazó con arena extendida y apisonada. La capa se enrazó con piedras colocadas

[38] DE ANDA, Enrique X (Coordinador) (2001). Ciudad de México, *Arquitectura. 1921-1970.* México/Sevilla. p. 305.

en hiladas horizontales y se fue elevando la construcción al mismo tiempo buscando evitar asentamientos desiguales. A pesar de los pensamientos escépticos de algunos, se terminó la construcción y en sus 55 años de vida, el edificio soportó con buenos resultados varios temblores que acontecieron en la última mitad del siglo XIX.

- *Consolidación del terreno*

De acuerdo con el texto del ingeniero Pizano, el método más usado en 40 años hasta la publicación de su obra, (1850-1890) fue el método introducido por el Ingeniero D. Javier Cavallari, que consistía en la consolidación del terreno por medio de capas sucesivas, apisonadas, de piedra dura, pedaceria de ladrillo y mezcla de mortero terciada. El procedimiento era el siguiente: se hacía una excavación de 1.7 m a 2 m de profundidad hasta encontrar el nivel freático, se colocaba una capa de mezcla hidráulica y de pedacería de ladrillo, que se apisonaba perfectamente. Las capas eran de 10 a 15 cm de espesor y la compresión se hacía con el fin de que la mezcla de mortero se incrustase en los intersticios de la pedacería de ladrillo. La mezcla hidráulica se componía de cal grasa apagada espontáneamente y de arena y tezontle con los que se hacía una argamasa a la que se le agregaba una parte de la tierra producto de la excavación. Una variante del método es la que usa mezcla terciada, formada de cal, arena y barro en proporción 0.15:1:1.

Figura I.20 Edificio del Banco de Londres y México. OMG 2013.

De este método se menciona que tiene bastantes bondades en el suelo de la Ciudad. Que es muy barato (con costo por metro cúbico de $8 a $10 pesos de aquella época)[39], que había construcciones de cuarenta años de antigüedad que no habían sufrido asentamientos importantes y que el sistema "puede emplearse con seguridad en el suelo de México".

Como se señaló, estos son sólo algunos de los sistemas de cimentación empleados para las construcciones en el suelo arcilloso compresible de la Ciudad de México hasta la última década del siglo XIX. El auge constructivo del Porfiriato trajo consigo un cambio radical en la ciudad construyéndose pesados edificios cimentados las más de las veces con emparrillados, que algunas ocasiones funcionaron de forma aceptable y otras más fueron insuficientes. En

[39] Utilizando el factor de actualización del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) del INEGI con base 2010=100 entre los años 1890 y diciembre de 2013, resulta $8.00x0.001x111.5/0.000771678 = $1,156 pesos actuales; para $10 = $1,445 pesos actuales. El rango anterior, $1,156-$1,445 es equivalente al valor del m^3 de concreto, el cual ronda los $1,200 pesos actuales.
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/historicas/ehmii7.pdf, http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/

el siglo XX se volvieron a crear nuevas soluciones para el mismo problema.

En 1910, se construyó el Banco de Londres y México, diseñado por el Ingeniero Miguel Ángel de Quevedo. Este edificio fue cimentado sobre un cajón de concreto siendo el primer caso en México en que se usó el concepto de compensación del peso desplazado de suelo con el peso del edificio, de forma que la carga total transmitida al subsuelo fuera mínima. Al edificio original se le agregaron dos niveles y hubo que hacer nuevos trabajos de cimentación.[40]

Figura I.21 Edificio de la Lotería Nacional. 1949. Tomado de ref. 40

Entre otros, también es importante mencionar el trabajo que realizó el Ingeniero José Antonio Cuevas en la cimentación para el edificio de la Lotería Nacional, donde propuso además de una cimentación compensada, un sistema de tanques de agua en la base de la construcción con los que se podía controlar el desplomo y el asentamiento que tenía todo el edificio durante y después de su construcción.[41]

De igual forma, otro de los sistemas que merecen ser mencionados es el desarrollado por el Ingeniero Manuel Gonzáles Flores, quien inventó y patentó el sistema conocido como pilotes de control, con los cuales se puede controlar el nivel de asentamiento que tiene un edificio por medio de un dispositivo instalado en los pilotes, los cuales no están unidos directamente a la losa de cimentación sino están apoyados en una trabe de acero que a su vez tiene dos espárragos que se apoyan a la losa. Manipulando las tuercas de los espárragos se puede controlar el esfuerzo que una parte del edificio está provocando en el suelo y en el pilote, lo que permite, con la operación de varios pilotes con este dispositivo, el reacomodo del edificio en su conjunto. Este sistema fue muy popular en la mitad del siglo XX, pero representaba una desventaja el hecho de que requiere un mantenimiento constante que implica un costo elevado para los propietarios del edificio.

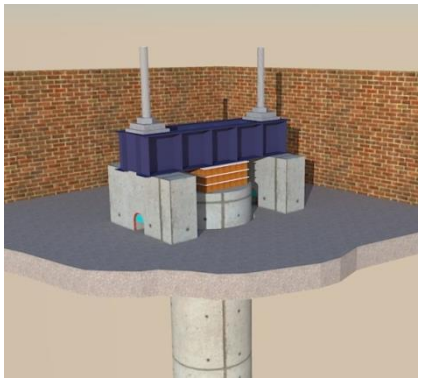


Figura I.22 Esquema de un pilote de control. OMG 2013.

Durante la construcción de La Nacional, Manuel González Flores estudiaba en la Escuela Nacional de Ingenieros. Participó junto al Ing. José Antonio Cuevas en el proyecto del edificio de la Lotería Nacional y su tesis de licenciatura fue precisamente un estudio comparativo entre dos clases de estructuras para dicho edificio, en 1935, tan solo 2 años después de terminado La Nacional. Ese documento es una de las fuentes que dan muestra de los métodos constructivos usados en esa cuarta década del siglo XX.

[40] LEÓN, *op. cit*. (1974). p. 34
[41] POPULAR MECHANICS, México City is sinking. Noviembre 1949.

Como se expuso aquí, el problema de las cimentaciones de edificios en la Ciudad de México ha estado presente desde tiempos prehispánicos, y ha dado lugar a la imaginación y al esfuerzo de muchos hombres en búsqueda de controlar el difícil suelo de la parte central del valle. La altura de una construcción está estrechamente ligada de su base. Por esto, cuando se habla de toda edificación de importancia en la ciudad, invariablemente se habla también de sus cimientos. El desarrollo de la mecánica de suelos se dio con importantes investigaciones hechas a partir de los años 40, con la ayuda de muchos arquitectos que en sus obras hacían estudios que fueron reunidos en el compendio de los ingenieros Raúl J. Marsal y Marcos Mazari, en 1959.

Figura I.23 Edificio Guardiola, de Carlos Obregón Santacilia. 1938. OMG 2013.

En la Nacional, dada la falta de información en cuanto a su concepción, no se puede conocer qué llevó a los arquitectos al uso de pilotes de madera hasta la capa dura. Precisamente el hijo de uno de los arquitectos del edificio, Bernardo Calderón, en un estudio sobre mantenimiento que hace a construcciones históricas menciona que en el edificio Guardiola (1938, figura I.23), la cantidad de pilotes de madera fue excesiva, lo que provocó que la estructura pareciera emerger del suelo, obligando a la adecuación de rampas y escaleras para su acceso. Este caso no lo vemos en La Nacional, al menos no tan grave, lo que hace pensar que el número de pilotes fue calculado de alguna forma para lograr un hundimiento similar al que presenta toda la ciudad. También es importante hacer notar que el edificio Guardiola conserva su verticalidad, lo cual significa que la cantidad de pilotes fue distribuida uniformemente en todo el terreno, además de que su ubicación entre calles por los cuatro costados hace que no tenga construcciones colindantes y favorece el comportamiento aislado de la estructura. A diferencia, La Nacional si presenta un problema de desplomo hacia el este, que según el Ing. Rebolledo, "desconfiando posiblemente de la capacidad de carga de los pilotes, este edificio desde un principio quedó sobre elevado con relación al nivel de banqueta aproximadamente 50 cm, los cuales se han aumentado en la actualidad debido al asentamiento de la ciudad"[42]. Ese desplomo pudo incrementarse o hacerse más evidente con la construcción a mediados de los años 50 de su vecino, al cual se le incluyeron pilotes de control. Por un lado está eso, por otro está que es una construcción sumamente pesada y aparte, enfrente tiene un edificio de 150 m que también comienza a emerger. No es posible establecer si el desplomo es un problema del propio edificio o de conjunto con sus vecinos si no se hace un estudio más detallado, lo cual no es el objetivo de este trabajo pero, dado que es la causa de que el edificio actualmente se encuentre parcialmente desocupado, es importante mencionar.

[42] BARBARÁ Z. Fernando. (1955). Materiales y procedimientos de construcción. México: Sociedad de Arquitectos Mexicanos y Colegio Nacional de Arquitectos. p. 82.

C. El Rascacielos

> El rascacielos ha sido una celebración de la tecnología constructiva moderna. Pero también es el producto de la calificación del suelo y de las leyes fiscales, del mercado inmobiliario y del mercado de dinero, de las exigencias legales y de las de los clientes, de la energía y la estética, de la política y la especulación.[43]
>
> "El rascacielos fue la respuesta al crecimiento de las ciudades y los negocios, y a la concentración de actividades comerciales que albergaban mucha gente en un suelo urbano cada vez más congestionado y caro. Su avance tecnológico más radical fue la estructura metálica y el muro cortina"[44]

El término rascacielos es la traducción directa del término en inglés *skyscraper*, el cual brinda una idea de la importancia que el ser humano le ha dado a través de la historia a la construcción hecha por el hombre, que se eleva hasta alcanzar el cielo, mostrando la grandeza y la solidez de una sociedad. En los tiempos antiguos, las pirámides cumplían esta función. En el siglo XX, el rascacielos es la pirámide de la sociedad moderna.

La construcción de edificios surgió debido a dos razones principales: la necesidad de resolver los problemas de espacios y el elevado costo de terrenos en las grandes ciudades[45]. Asimismo, surgen nuevos problemas técnicos aparte del inherente problema de las estructuras para soportar varios pisos, como el de los servicios (agua y drenaje por mencionar algunos) y el transporte vertical.

El desarrollo de los rascacielos fue incrementado y muchas veces limitado por los avances tecnológicos. El progreso de avances en materia de resistencia contra el fuego en las estructuras metálicas, y el perfeccionamiento del ascensor seguro por parte del señor Otis en 1852 son los ejemplos más relevantes en este sentido. Otras innovaciones fueron el estudio de las cimentaciones y el mejoramiento de las instalaciones. Las tuberías, los sistemas de iluminación y ventilación hicieron al habitante del rascacielos sentir la comodidad del confort en una época en que se hacía especial énfasis en este concepto.

La industrialización, la actividad económica y el tipo de suelo en la ciudad de Chicago propiciaron la aparición de esta clase de construcciones durante la segunda mitad del siglo XIX. La población urbana creció trayendo la necesidad de la especialización, creando lugares específicos para la gestión y la dirección de las actividades económicas.

En 1871 la ciudad sufrió un gran incendio, *The Great Chicago Fire*, que destruyó gran parte de las construcciones, la mayoría de ellas hechas de madera. El incendio llegó en un momento en el que la ciudad tenía un desarrollo próspero, y lo que dejó fue una gran disponibilidad de espacios para las nuevas edificaciones. Se comenzó la reconstrucción de la ciudad con la convicción de hacerla resistente al fuego, usando materiales como roca, hierro y un material novedoso que ofrecía grandes ventajas con respecto a este último: el acero.

---

[43] HUXTABLE, Ada Louise, El Rascacielos: La búsqueda de un estilo.. MADRID: Nerea. p. 8.
[44] *Ibidem.*
[45] TERRANOVA, Antonio. *Rascacielos*. España: Ediciones Librería Universitaria.

Figura I.24 Edificios de la Escuela de Chicago. A la izquierda, la Av. Wabash con el *Loop* central. Al centro, el *Relliance Bulding* en la esquina de Washington St. y State St., a la derecha, el mismo edificio durante su construcción. 1894. (OMG 2012, Ref. 44)

Los primeros edificios fueron resueltos con muros de mampostería, pero este método presentaba la desventaja de que soportaba estructuras relativamente pequeñas. Al ir incrementando la altura de los edificios, los muros se debían hacer más anchos para hacerlos más resistentes, dejando menos lugar para la ventilación y la luz natural, haciendo los espacios poco atractivos para los ocupantes.

El ingeniero William LeBaron Jenny tuvo la idea de construir un esqueleto de hierro que proporcionara estabilidad y rigidez a las construcciones sin tener que hacer muros más gruesos. Este esqueleto era capaz incluso de soportar un revestimiento de mampostería. Así, de 1884 a 1885 construyó el considerado primer rascacielos en el mundo, el *Home Insurance Building*, construido al principio con hierro pero a partir del sexto piso, fue cambiado a acero a partir de que un molino de Pittsburg ofreciera este material que presentaba ventajas en cuestión de seguridad contra el fuego. El edificio contó con 12 niveles y una altura de 55 metros. Fue demolido en 1931.

Esta nueva forma de construcción dio lugar al nacimiento de una corriente dentro de las edificaciones conocida como la Escuela de Chicago: Edificios con esqueleto de acero que buscaron cumplir con su objetivo de rentabilidad con una mayor ventilación natural a través de la ventana tipo Chicago que componía el muro cortina, con fachadas tan sencillas como era posible, buscando simplemente cubrir la estructura de la manera más económica, sin preocuparse demasiado por las grandes ornamentaciones. En pocas palabras fueron edificios prácticos.

Entre 1894-1885, Charles B. Atwood construyó en Chicago el Reliance Building, con 15 plantas, el más claro ejemplo de los primeros rascacielos de la Escuela de Chicago.[46]

Entre 1895 y 1897 se construyó el *Union Loop* en la zona comercial. El *loop* central formaba un circuito al que concurría la red de trenes internos de la ciudad, y presentaba una solución a las complicaciones de movilidad en el distrito financiero que había comenzado a tener serios problemas de

[46] BIRKMIRE, William Harvey. (1900). *Architectural Iron and Steel and its application in the construction of buildings.* Ney York. John Willey & Sons. p71.

congestionamientos. Este hecho propició también que los terrenos en esa zona fueran aumentando de valor, impulsando en gran medida el desarrollo vertical.

En las décadas que precedieron a la Primera Guerra Mundial (1914-1918) sucedieron grandes cambios en el mundo como se conocía. En 1892 Francois Hennebique perfeccionó el hierro y el concreto armado. Se perfeccionaban los transportes para hacerlos más rápidos y seguros, como puede verse en los ferrocarriles y los barcos transatlánticos. Los hermanos Wright desarrollaban su aeroplano en 1903 y la guerra cambiaba de forma al introducirse nuevas armas. El automóvil modelo T de Henry Ford nació con la producción en serie de 1908. Las catedrales y los palacios eran desplazados en importancia por los edificios de oficinas.

La concepción básica de estas construcciones consiste en un armazón metálico capaz de soportar su propio peso así como el peso de muros y fachadas de los edificios. La adaptación del elevador en los edificios hizo indiferente el número de pisos, provocando un cambio en la mentalidad de las organizaciones ya que los directivos pasaron de estar en la planta principal, a los pisos más altos donde se encontraban más cerca del cielo. El rascacielos se volvió la representación del tamaño y de la estabilidad de las empresas, creando íconos con los que se identifican las compañías en las ciudades. Desde ellos se dirigían los grandes negocios.[47]

Otra de las innovaciones en los rascacielos fue el mejoramiento de los sistemas de ventilación y de acondicionamiento dentro de las edificaciones. La concepción del diseño interior ya no era tal que garantizara las condiciones de luz y temperatura naturales, sino que la tecnología permitía crear microclimas aptos para el desarrollo de las actividades humanas sin importar las condiciones climatológicas externas.

Las prioridades que se tomaron en un principio en cuenta para la construcción de los rascacielos fueron la economía, la eficiencia, el tamaño y la rapidez. Pronto y casi a la par que Chicago, la ciudad de Nueva York tuvo un desarrollo vertical vertiginoso, y es ya a principios del siglo XX donde se llevan a niveles inimaginables estas construcciones

Figura I.25 New York City. Midtown Manhattan en 1930. Se aprecia el Chrysler Building al centro. Tomado de El Universal, febrero, 1930.

En los primeros años del siglo XX comenzó a divulgarse entre los neoyorquinos el temor a que las calles se volverían túneles con iluminación y

[47] GLANCEY, Jonathan, *Historia de la arquitectura*. 1ª edición en español. México: Editorial Planeta. p. 159

Figura I.26 *Skyline* o vista general de la ciudad de Nueva York en 2012. Empire State Building y Chrysler Building dominan la vista del centro de Manhattan. OMG (2012)

ventilación limitados con el aumento en la cantidad y altura de los edificios en la isla de Manhattan. En 1891, Louis Sullivan planteó, basado en las ideas de William le Baron Jenney y William B. Mundie, la idea de estructura llamada *Setback-mass building*, en que el basamento de la estructura de los edificios se levanta hasta una altura proporcional al ancho de la calle, y sobre la cual se levanta una segunda masa con una sección más pequeña pero tan alta como los requerimientos de espacio interno se tuvieran. Algunos consideran que esta ideología fue inspirada en construcciones antiguas como el zigurat mesopotámico o las pirámides mayas. El hecho es que esta solución de estructura en forma piramidal proporcionaba la luz y ventilación necesarias a las calles, y permitía hacer edificios más altos. En 1916, las disposiciones reglamentarias municipales de Nueva York obligaron a que las construcciones en la isla de Manhattan siguieran las disposiciones de Sullivan, sin embargo, no fue hasta 1925 que se comenzó a ejercer esta normatividad.[48]

Sobre la influencia de la arquitectura prehispánica mesoamericana que tuvieron los rascacielos, en 1934 Alfred Boissom explica que "Los mayas en México […] desarrollaron una arquitectura de superficies simples, sin cornisas pero con […] énfasis en los ángulos ornamentados para formar la silueta de la torre. Los diseñadores en New York y Chicago, trabajando bajo idénticas condiciones de luz, hicieron lo mismo…[49]

Derivado de las construcciones con forma piramidal, los diseñadores comenzaron a incorporar un tratamiento estético en las fachadas a través de grandes masas formadas por planos que contenían líneas continuas además del uso de materiales como el tabique y la piedra caliza, de fuerza visual grande que provocó la adaptación y la popularidad de un estilo arquitectónico en este nuevo tipo de edificaciones.

Cuando surgieron los rascacielos comenzó una carrera por construir el edificio de mayor altura. Durante un cuarto de siglo, el edificio que ostentó el título de ser el más alto del mundo fue el *Woolworth Building*

[48] ANDA, Enrique de. (2005). *Una mirada a la arquitectura mexicana del siglo XX*. México: Arte e Imagen p 54-55.
[49] Ibid p. 55

Figura I.28 Empire State Building, a poco tiempo de su inauguración. El Universal, 1932.

en la parte baja de Manhattan; un edificio de 241 m coronado con un tejado medieval con linterna, diseñado por Cass Gilbert y construido entre 1910 y 1913. El revestimiento es de terracota y cuenta con detalles góticos, lo que le ganó el término de "la catedral del comerció" por S. Parkes Cadman en su inauguración. Pronto, el Chrysler Building, diseñado por William van Alen lo superó en altura en 1930, superando también a la estructura más alta del mundo construida por el hombre, la Torre Eiffel (1889, 324 m). Sin embargo, el Empire State reemplazó en altura a todos sus adversarios en 1932, y se convirtió en un hito para la arquitectura y la historia de los rascacielos.

El Empire State, diseñado por el estudio de Shavre, Lamb and Harmon, se levanta en la acera de la calle 34th de manhattan con unos volúmenes que disminuyen en planta y rematan en una antena que se pierde entre las nubes. Quizá uno de sus principales valores radica en que fue construido en una época difícil para los Estados Unidos, los años posteriores a la crisis de 1929, pero con una visión incomparable. No sólo con la altura sino que también se innovó en el proceso constructivo además de demostrar un sistema de supervisión y control excepcional. Se ha convertido en una visita obligada de la ciudad de Nueva York.

Figura I.27 Chrysley Building. Tomado de El Universal, Julio de 1930.

Por otra parte, el Rockefeller Center merece ser mencionado ya que a pesar de no ser tan alto como los edificios antes mencionados, tuvo una aportación importante a la composición urbana. Es un inmenso complejo compuesto por nueve torres, un paseo peatonal, una plaza y una pista de hielo. Significó la adaptación del edificio con su entorno urbano. Un diseño unitario que incluyó un complejo urbano multifuncional, donde las oficinas se integraban armónicamente con los espacios públicos.

En el caso de México, la elección del rascacielos responde más al deseo de experimentar con una modernidad constructiva inspirada por las edificaciones norteamericanas que en el aprovechamiento de espacio.

En 1927, el arquitecto José Luis Cuevas proyectó un edificio que se anunció como "el primer rascacielos en México" en la esquina de avenida Juárez y Dolores. El proyecto era un edificio de 12 niveles que cumplía con los requerimientos zonales de Nueva York, siguiendo la tendencia del basamento alineado al lindero del predio pero que reducía su sección a medida que crecía en altura. El edificio con estética claramente Déco, no llegó a construirse.

Figura I.29 Tres periodos en la arquitectura de México. OMG, 2013.

El edificio *La Nacional* surgió tres años después, tomando en consideración tres propósitos fundamentales: la representación material de la imagen del progreso económico del país enmarcado dentro de la paz social de la postrevolución, el triunfo de la tecnología constructiva completamente mexicana, que expresaba los avances alcanzados tanto en el dominio del difícil subsuelo lacustre de la Ciudad de México como de los recursos constructivos del acero y el concreto armado, y, por último, el reconocimiento de una estética norteamericana como guía de la modernidad arquitectónica.[50]

El rascacielos tiene la solidez visual que presenta el concreto aparente extendido en amplios planos. La forma piramidal es expuesta en la cima del conjunto, con un escalonamiento en las fachadas, y "con un pináculo de remate constituido por un volumen de esquinas achaflanadas y cartelas a manera de contrafuertes escalonados"[51]. En el vestíbulo encontramos también la estética decó al estilo neoyorkino en las puertas forjadas con chapa de acero inoxidable brillante de los elevadores, donde los grabados "aparece invertida la silueta del edificio, del que se desprenden rayos que establecían la relación entre la imagen del sol y la significación del edificio dentro del ámbito financiero de la época; estilizaciones lineales de cabezas de águilas flanquean con un impulso dinámico estas representaciones solares."[52]

La Nacional fue de los pocos edificios construidos con ese esquema del déco que encontramos en los rascacielos neoyorquinos, sin duda creado bajo las mismas bases que el proyecto de José Luis Cuevas. El edificio Ermita (1931) incorpora la estética decó sin los escalonamientos, innovando al ser un edificio plurifuncional donde además de los comercios, se incluyeron departamentos y un cine. El edificio de la Lotería Nacional (1942) de José Antonio Cuevas es una versión interesante de la verticalización del decó con una ligera influencia de la arquitectura funcional. Otros edificios tomaron tendencias más del funcionalismo que del déco, como el de la fundación Mier y Pesado (1934) o el edificio Basurto, ambos de Manuel Zavala, o edificio del IMSS (1950), de Carlos Obregón Santacilia. Finalmente, la Torre Latinoamericana eclipsó en la mitad del siglo XX cualquier otra construcción en la ciudad, con su ubicación, altura y tecnología, que le ha hecho merecer reconocimientos internacionales.

[50] Ibid 58
[51] Ibid 58-59
[52] Ibid 59

D. El concreto reforzado en el '*Art Déco*'.

Los asirios y babilonios usaban arcilla como cementante para sus construcciones. Los egipcios utilizaron cal y yeso. Desde el primer milenio de nuestra era se conocía una especie de cemento primitivo en nuestro continente. Un concreto hecho con cal de piedra como agregado áspero y cal puzolánica como matriz cementante con el que los antiguos pobladores del continente construyeron sus casas y templos. En Mesoamerica tenemos una rica variedad de ejemplos de estas construcciones que han sobrevivido a las inclemencias del tiempo.[53]

Los antiguos romanos hicieron una gran labor en cuanto al desarrollo de procedimientos y materiales de construcción. Unos dos siglos antes de Cristo fue probablemente cuando aplicaron un revestimiento de cal a una pared hecha de cenizas puzolánicas de origen volcánico, cerca de la localidad de Pozzuoli, en Italia. Una reacción química ocurrió entre los productos químicos en la pared de la ceniza volcánica (sílice y pequeñas cantidades de alúmina y óxido de hierro) y la capa de cal (hidróxido de calcio). Con el tiempo, encontraron que mezclando un poco de cenizas volcánicas en polvo fino con la cal húmeda se forma un recubrimiento más grueso que el yeso y que, además, producen un material duradero que puede ser sumergido en el agua, algo que el producto de yeso de cal y arena húmeda no podía igualar. Este material es el antecedente directo del concreto Portland que conocemos hoy día.[54]

En 1756, el ingeniero británico John Smeaton hizo el primer concreto moderno (cemento hidráulico) mediante la adición de piedras como agregado grueso y mezclando ladrillo triturado en el cemento. En 1824, el inventor inglés Joseph Aspdin creó el cemento Portland, el cemento más utilizado en la producción de concreto, quemando piedra caliza y arcilla juntos. Al quemarse, las propiedades químicas de los materiales cambian, creando un cemento "más fuerte" que el que produciría simplemente la piedra caliza triturada.[55]

El primer uso del concreto reforzado es atribuido al jardinero francés M. Joseph Monier quien utilizó concreto con un refuerzo metálico en la construcción de jardineras para unos arbustos en 1867, aunque la idea de compensar la poca resistencia a la tensión del concreto con acero era ya conocida desde años antes, pues en 1854 se presentó una patente en Inglaterra para el concreto reforzado y algunas muestras de su utilización fueron presentadas en la exposición de Paris de 1855 así como muchas aplicaciones fueron propuestas por el ingeniero Francés M. François Coginet desde 1861.[56] Sin embargo, el primero en emplear concreto reforzado en gran escala fue Monier, quien habiéndose convencido de su utilidad, patentó su sistema y lo empleó para la construcción de tanques, estanques, pisos y posteriormente para puentes. Por algunos años su sistema fue empleado únicamente en Francia de una manera limitada, pues estaba basado en la experiencia y carecía de un fundamento científico.

---

[53] GUZMÁN, Arturo. *En concreto*. México. IMCYC. 262 p.
[54] http://www.romanconcrete.com/docs/spillway/spillway.htm
[55] http://inventors.about.com/library/inventors/blconcrete.htm
[56] http://uzes.blogs.midilibre.com/tag/monier; http://engineersoutlook.wordpress.com/2011/10/11/structural-concrete-design/

En 1879 Monier presentó su sistema en la Exhibición de Antwerp, donde llamó la atención de G. A. Wayss, quien compró las patentes para Alemania y formó al compañía G. A. Wayss & Co. de Berlin y Frankfurt para trabajar el sistema. Así, se realizaron experimentos y un exhaustivo estudio que comprobó las ventajas de esta forma de construcción, y se formularon principios en los que se basaba su utilización. El concreto reforzado fue usado más y más, no sólo en Alemania, sino también en otras partes de Europa, y fue empleado no solo para arcos, pisos y tanques, sino para represas, tuberías y demás estructuras similares. [57]

M. François Hennebique y M. Paul Cottançin fueron los primeros en utilizar barras y estribos para contrarrestar los esfuerzos de la fuerza cortante. Así, poco a poco se fue creando el fundamento teórico en el que se basa la construcción con concreto reforzado y su uso fue esparcido por todo el mundo dado que probó ser un material constructivo eficiente.

Figura I.30 Anuncio Tolteca en Excélsior. Diciembre 1932

A finales del siglo XIX en México era posible comprar cemento inglés Gibbs, y belga Hammer en sacos y barriles, así como cemento de los Estados Unidos en menor medida. Para 1900 había ya en México dos fábricas con hornos verticales: la de Santiago Tlatelolco y la de Dublán, en Hidalgo. Debido al bajo consumo y al alto costo de producción, ambas fábricas cerraron. Sin embargo, en los siguientes años se abrieron fábricas con hornos rotatorios como la de Hidalgo en Nuevo León (1903), Cruz Azul en Jasso, Hidalgo (1907) y la Tolteca (1909) también en el estado de Hidalgo.[58]

El concreto armado llega a México en 1902 cuando el contralmirante Angel Ortiz Monasterio regresa con la representación del "Betón Armé, système Hennebique" después de haber trabajado con François Hennebique en Paris. Éste, junto con Manuel Rebolledo, son los pioneros y principales promotores del concreto en el país.

Para el año 1925 el comité para propagar el uso del cemento Portland comenzó con la publicación de un suplemento que se convirtió en la revista *Cemento*, editada por Federico Sánchez cuyo primer número salió en enero de aquél año y que comenzó con un tiraje de 8000 ejemplares que posteriormente se incrementó a 10000. Dentro de la revista se menciona que el comité "entre sus diferentes servicios al

[57] MARSH, Charles F., DUNN, William. (1909). *Reinforced Concrete*, New York: D. Van Nostrand Company, p. 1,2.
[58] KATZMAN, Israel. (1964). *La arquitectura contemporánea mexicana : Precedentes y desarrollo*. México: INAH. p. 58

público, tiene el de resolver cualesquiera problemas que en lo particular se presenta para el empleo del concreto."[59]

En *Cemento*, se resaltaban las ventajas de usar el concreto para toda clase de edificación. "El concreto entre más años pasan, es mejor" dice la contraportada del primer número. Otro anuncio argumenta que "debido al mal subsuelo de la Capital, el concreto es el material para los edificios altos, por su ligereza, mientras que por otra parte, está a prueba de fuego, un requisito imprescindible de la época contemporánea"[60]. Se mostraban imágenes de casas de bloques marca *Hinton* hechas por el Ing. José Bonilla en la Colonia del Valle. El folleto daba informes de los cuidados que debe tener el concreto, transcribía las especificaciones del *American Concrete Institute*. Se mostraba su uso exitoso en edificios, casas, puentes, albañales y silos. Inclusive se añadía una sección titulada "sujeción para una casa" donde eran presentados planos y dibujos para casas construidas de concreto.

Figura I.31 Portada de la revista *Cemento*, mayo y noviembre, 1929.

A partir de 1929 la compañía de cemento La Tolteca lanzó su propia revista con el título de *Tolteca*, redactada por Sánchez Fogarty, sin duda heredera de *Cemento*, y donde también se daban recomendaciones como la que podemos observar a continuación:

> "El concreto armado es el producto de una revoltura de agua, cemento, arena y grava, reforzada interiormente con varillas de acero; con la circunstancia de que este metal, revestido de un concreto confeccionado y colocado con todas las reglas del arte, no se oxida, y se vuelve tan permanente como el concreto.
>
> Buen concreto quiere decir: concreto fuerte, impermeable y, en una sola palabra, económico. Y para hacer un concreto económico, eso es, servicial y permanente, sólo se necesitan… ¡Ganas! Con una circunstancia- que si usted tiene ganas, gana dinero; porque es ganar dinero el emplearlo bien y hacer las cosas UNA VEZ PARA SIEMPRE. El buen concreto, es resultado:

Figura I.32 Portada de la Revista Tolteca. Número 22, Marzo, 1929.

- Primero de elegir cemento de alta calidad;
- Segundo, de emplear poca agua en las revolturas, la muy indispensable para producir una masa colable o colocable.

[59] *CEMENTO*, Comité para propagar el uso del cemento Portland. Núm. 2. Febrero, 1925.
[60] Idem.

- Tercero, de utilizar arena y grava compuestas de granos duros y ásperos y bien graduados, sin tierra ni lama ni materias vegetales o animales;
- Cuarto, de mezclar el cemento, la arena y la grava en las proporciones necesarias para obtener un concreto compacto;
- Quinto, de hacer la revoltura a conciencia, de modo que la poca agua empleada humedezca todas las partículas del cemento y los granos de la arena y la grava;
- Sexto, de conservar el concreto superficialmente mojado durante por lo menos una semana después de las tres horas de colado o colocado."[61]

El *Art Déco*

En 1925 se llevó a cabo en París la *Exposition internationale des arts décoratifs et industriels modernes* cuyo tema central fue la estética que germinó desde el último cuarto del siglo XIX y que se consolidó en las primeras décadas del siglo XX y que es conocido como el punto de partida de lo que ahora se conoce como *Art Déco*.

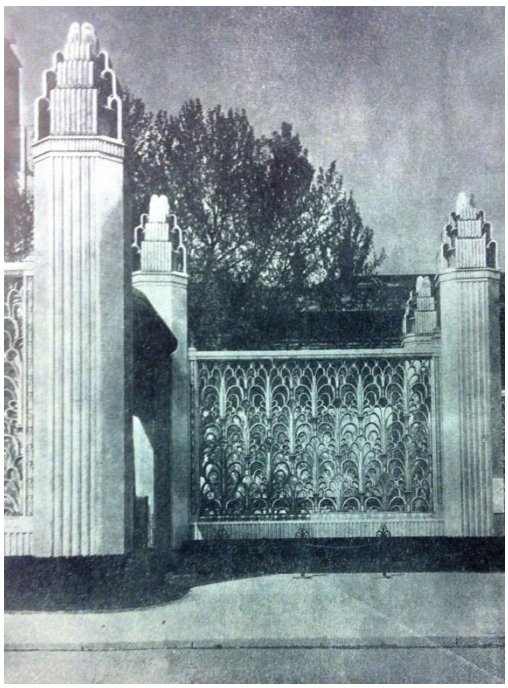


Figura I.33 Pilares de concreto en la Porte *d'Honneur* de la *Exposition internationale des arts décoratifs et industriels modernes de 1925.* Revista *Cemento*. Febrero de 1926.

En aquellos años, durante los veinte y treinta, se referían a esa estética como Arte y Arquitecturas modernas. No fue hasta 36 años después, luego de la exposición "Les Années 25" que tuvo lugar en el *Musée des Arts Décoratifs*, en París, del 3 de marzo al 16 de mayo de 1966, en la que hacía una remembranza de lo que se originó en aquella exposición de 1925, que comenzó a utilizarse el término *Art déco.* A esta exposición sucedieron otras en París y Estados Unidos.

La descripción de la exposición de paris de 1925 muestra claramente la esencia del estilo Déco:

> "El objeto principal de la feria artísticamente considerada fue hacer propaganda a una rama del progreso. […] la exhibición fue admirablemente característica y vigorosa y acosa gran acopio de ingenio en proyectos, habilidad en el empleo de materiales y delicadeza en las labores manuales. […] La actual generación está a disgusto y desea atenerse a su propio criterio. Con tendencias humanas naturales se va a extremos y cree necesario no solamente resolver sus propios problemas, sino también expresar las respuestas en un lenguaje enteramente nuevo. […] El afán de evitar el uso del precedente en los edificios, ha sido la causa de que hubiera muchas obras vacías, informes, y por eso los proyectantes han vuelto a los triángulos y zig-zags de los normandos y los incas. […] una de las características sobresalientes en la exposición [es] el esfuerzo para resolver problemas honradamente, de manera distinta y, más que todo, de una manera atractiva. […] son notables los nuevos estilos para el uso del cristal como decoración, y los métodos modernos de emplear las luces

[61] *Tolteca* (Revista). No. 19 publicación bimestral correspondiente a Junio de 1931. p. 252.

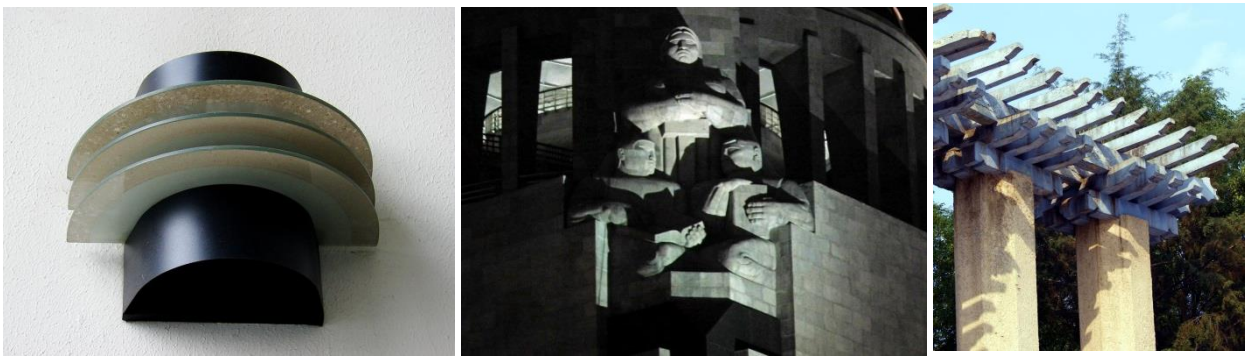


Figura I.34 *Art Déco*. Lámpara en La Nacional, Escultura del Monumento a la Revolución. Columnas en el Parque México. OMG, 2013.

> artificial y natural. […] La idea central en el proyecto estético se llevó a cabo con armonía y afinidad desde las construcciones hasta en las modas femeninas; así en materia de una joya, como en una cuestión decorativa.[62].

El estilo logró unir un progreso tecnológico logrado en los años de la posguerra con la creación artística que buscaban los intelectuales y artistas ante la amenaza que veían en la producción en serie lograda a principios del siglo XX. El *Déco* refleja la actitud de los artistas que creían en la necesidad de la formulación de nuevas estructuras, nuevas formas, que les permitiera la creación de objetos que no sólo fueran utilitarios sino que tuvieran un sentido estético, pues el hombre siempre ha tenido la necesidad de vivir en medio de la belleza, y la naturaleza ya no presentaba inspiraciones novedosas. De esta forma, la tendencia se inclinó más hacia la abstracción de las formas que a la imitación de las formas naturales.

Como precedente tiene al Art Nouveau (1894-1915) que encontró en las curvas y las formas naturales su sentido de identidad. El *déco* muestra dos orientaciones principales: su vertiente zig-zag entre 1920 y 1929 cuya principal característica son los tejidos geométricos pero que no llegan a convertirse en redes; y la vertiente de la *streamline*, de 1930 a 1939, que muestra formas cuadrangulares y enfatiza la velocidad y el movimiento.

El *Art Déco* adquirió relevancia debido a la proliferación en su concepción y aplicación: ebanistería, joyería, textiles, cerámica, etc. Además, en las artes plásticas se presentó un desarrollo inigualable de la estética del déco en gran cantidad de ilustraciones para periódicos y anuncios de revistas, así como en gran cantidad de pinturas. En pocas palabras, el estilo Déco penetró en prácticamente todas las actividades humanas de la época.

Dentro de los temas que aborda esta corriente podemos encontrar la figura de la mujer sin inhibiciones, que pierde la sumisión en que había estado a principios de siglo, y se muestra sensual, consciente de que representa un objeto del deseo, que se muestra bebiendo, fumando y bailando, enmarcada en un ambiente de felicidad, muy recurrente en las obras pictóricas de la posguerra. También encontramos que el estilo se inspira en el decorativismo extraído de otras culturas, india, azteca, egipcia, oriental, etc., que

[62] COS, M. M. *Arte Moderno Arquitectónico.* Traducción del informe de la exposición de Paris de Everett Waid, en *Cemento* (Revista), febrero 1926.

contrasta con una simplificación geométrica hecha posterior a la ideología cubista que nació en los primeros años del siglo XX.[63]

En arquitectura, el estilo está representado por ciertas características determinantes: muros de cerramiento con formas angulares, distribución regular de los huecos, simetría de conjunto acentuada por ventanas que destacan la horizontalidad. Algunos casos incluyen mansardas geometrizadas del tipo francés, y las más de las veces, se presentan bandas paralelas verticales y horizontales que repiten la forma de puertas y ventanas. Muchas veces motivos históricos como columnas y capiteles son utilizados con formas abstractas, planas y esquemáticas. Las balaustradas generalmente de cemento son masivas, cilíndricas o prismáticas. Las fachadas incluyen bajorrelieves en placas sobre las puertas o en las rejas de los balcones y puertas. En pocas palabras, se inclina por las formas geométricas simples, paralelas, ondas, zig-zag, espirales. No falta el uso de los espejos, de cristales esmerilados, y de la herrería con líneas paralelas y ángulos agudos.

El Arquitecto Enrique X. de Anda señala tres claves para la constitución del estilo déco: su relación con la tecnología del cemento, el concepto de organización espacial expresado en la disposición de plantas y la composición de las fachadas.[64]

En cuanto a la relación del estilo con la tecnología del cemento, como se mencionó con anterioridad los primeros usos del concreto reforzado en México los encontramos en los albores del siglo XX. La expansión del uso del concreto fue producto de una intensa propaganda por parte de los productores de cemento, en el que señalaban las ventajas que ofrecía este material de construcción. La más importante de estas campañas publicitarias tuvo su origen en la revista *Cemento*, que alcanzó un buen nivel de influencia, en parte, debido a la extensa distribución que de ella se hizo y debido a la presentación de las tendencias arquitectónicas modernas que mostraba en sus ilustraciones. En la revista se decía que "usar el cemento, en su forma de concreto armado o como mezcla de recubrimiento en fachadas garantizaba que la obra tendría las cualidades de la arquitectura moderna"[65]. A partir de octubre y noviembre de 1925 comenzó a mostrar fotografías de la *Gran Exposición Internacional de Arte Moderno Industrial y Decorativo de Paris*, de la que se destacaba el trabajo que tuvieron los decoradores franceses equiparándolo con el de los arquitectos[66] y que describe como:

Figura I.35 Puerta de acceso al edificio La Nacional. OMG, 2013.

> "Las curvas han desaparecido y las fórmulas consisten de líneas rectas y ángulos agudos. El adorno está prohibido. […] El efecto de belleza

[63] MUNAL (1997). *Art Deco: Un País Nacionalista, Un México Cosmopolita* México: MUNAL. p.52-53
[64] *Idem*. p.75
[65] *Idem*. P. 76
[66] *Idem*. P. 76

> deben producirlo las felices dimensiones y la masa debe permanecer desnuda. El color se emplea para embellecer la forma y los materiales substituyen a la decoración aplicada. […] Las líneas son severas, lisas y angulares, pero el tamaño está proporcionado con el ancho."[67]

De igual forma, en la revista se define el arte moderno –entendido como lo que ahora se denomina *Art Déco*- como "lo que no se parece a lo antiguo", y explica su aparición diciendo que: "La actual generación está a disgusto y desea atenerse a su propio criterio". Un artículo menciona que "La simplicidad es la maravillosa tendencia del arte moderno. […] El ideal de la ciencia es resumir en el menor número de fórmulas todas las leyes que nos rigen, en el arte moderno sucede algo muy semejante; dar el máximo de belleza, de fuerza y de expresión con el mínimo de posibilidades que tiene el artista para hacerlo." Por otro lado también se aprecia el impulso que se le daba a los constructores sobre esta tendencia en un ensayo publicado por Bernardo Calderón y Vicente Mendiola en el que mencionan: "A nosotros nos toca construir con ese material y al embellecerlo manifestándolo en todo su esplendor, crear el estilo de la época, de la época del cemento. […] El gusto moderno que es más sencillo y menos fastuoso que nunca".[68]

El *Art Déco* mexicano presentó características bien definidas que lo vuelven evidente entre los demás estilos arquitectónicos que se encuentran en la Ciudad de México construida hasta la mitad del siglo XX. En cuanto a la disposición de plantas, puede mencionarse que se buscó la saturación del terreno debido a la limitación en los lotes. En el estilo déco encontramos una distribución de espacios que, a diferencia del funcionalismo, donde se perseguía la multivalencia de las áreas, se promovió la autonomía entre los diversos espacios y los vinculó mediante vanos. Dentro de los edificios de oficinas y en los de vivienda, la estructura se erigió en torno a un espacio central, ya sea un patio, o en torno a los medios de comunicación vertical, como en el caso de *La Nacional* donde las oficinas se encuentran en torno a escaleras y elevadores. En las casas habitaciones, espacios como el salón fumador y la sala de costura desaparecieron debido a que se volvieron obsoletos para la nueva forma de vivir, y fueron sustituidos por elementos que garantizaban el confort que se vendía como sinónimo de modernidad. Elementos como los baños cambiaron totalmente, pues aparecieron las paredes vidriadas y las instalaciones ocultas (de agua potable, desagüe y conductos de gas), así como la regadera, que en las plantas altas surgieron para hacer más fácil la vida a los usuarios. La cocina redujo notablemente sus dimensiones gracias a la aparición de los electrodomésticos. El bracero fue desplazado por el gas. Misma suerte tuvieron los refrigeradores a los que se les tenía que comprar un bloque de hielo todas las mañanas. Dentro de las habitaciones, la aparición del clóset y lámparas de mesa fueron las modificaciones más importantes. Para los acabados se utilizó madera en pisos y aplanados de yeso y mezcla de cal en los techos y muros, con colores lisos y en tonos de baja intensidad. La entrada comunicaba generalmente a la estancia-comedor y la escalera para las habitaciones y, en algunos casos, con la cochera.

[67] DERISANTY. *La gran exposición internacional de arte moderno industrial y decorativo en parís*, en *Cemento* (Revista), Octubre- Noviembre 1925.
[68] *Cemento* (Revista), Junio 1925

Figura I.36 Puerta de uno de los elevadores del edificio La Nacional, OMG, 2013.

En el caso de los edificios de oficinas, aparecieron lambrines de madera y pisos de piedras pulidas. En los pisos se colocaron mosaicos de pasta con un marco perimetral y una combinación geométrica en el centro. El patio central fue eventualmente sustituido por pozos de luz necesarios en los flancos de los edificios. Los edificios de oficinas ganaron mayor altura por razones de rentabilidad, siguiendo en parte el modelo del rascacielos norteamericano, con envolvente piramidal o prisma rectangular. Fueron recubiertos generalmente con cantera laminada o un repellado de mortero que da la apariencia de concreto expuesto. También se recurrió al uso de pavimentos de granito o mármol y plafones con enmarcamientos perimetrales que permitieron crear efectos lumínicos interesantes.

Por lo que respecta a las fachadas, es quizá la característica a la que se le dio más importancia dentro de la arquitectura Déco. Se aprecian fachadas desnudas, con placas en sentido vertical y horizontal que le proporcionan dinamismo a la composición. Generalmente son simétricas y segmentadas por lienzos verticales con sobreposición de planos de perímetro rectangular y en sucesión de mayor a menor a partir del muro de respaldo. El acceso al edificio es por lo general al centro. La simetría contribuyó a dar una imagen de solidez, asentamiento y permanencia. En varias ocasiones se conseguía la idea de movimiento mediante los juegos con la línea recta. Frecuentemente encontramos fachadas que contienen relieves moldeados generalmente en cemento con diversos motivos y que tipifican a los edificios. Los huecos de puertas y ventanas adquirieron una forma de arco estilizado, geometrizado y mixtilíneo, formando polígonos de 6, 7 ú 8 lados con un abocinamiento que repetía hacia el propio edificio la forma original con secuencias rítmicas que disminuyen de tamaño hasta rematar en la puerta o ventana. Muchas veces se incluyó una marquesina de concreto con tragaluces de vidrio, una torreta de remate constituida por un prisma piramidal que buscaba ganar altura y en la que se colocó un asta, o una serie geométrica con motivos prehispánicos o coloniales que proporcionaba el balance entre la ausencia de ornato que promovían los racionalistas y la necesidad del mismo que marcaba la vocación estética. La arquitectura Déco no se limitó al diseño de los espacios, sino que fue más allá al incluir en el diseño herrerías, detalles de madera, placas de cemento y vitrales, así como pasamanos, lámparas empotradas y mascarones, que formaron parte del proyecto dándole armonía y continuidad a todo el conjunto.

Figura I.37 Detalle de escaleras. Edificio La Nacional. OMG, 2013.

En México el Déco se extiende principalmente entre 1920 y 1940 en una sociedad transformada por la Revolución Mexicana, que aún no terminaba de asimilar lo que fue aquél movimiento armado ni sus consecuencias, que se muestra generalmente optimista pues tiene confianza en el futuro esperanzada en que la unidad nacional podrá lograr el

desarrollo que el país necesitaba. En estos años surge una clase media que puede volver a comprar en los grandes almacenes, que poco a poco desaloja el centro de la ciudad pues tiene la posibilidad de adquirir una casa en las nuevas colonias como Anzures, Condesa y Lomas de Chapultepec, para vivir en los nuevos desarrollos que ofrecen todas las comodidades que la arquitectura moderna puede proporcionar. Esta sociedad se preocupa únicamente por el presente pues se deslinda de la incertidumbre del futuro que depende de las decisiones políticas, y de un pasado del que sólo retoma la paz social que dejó el levantamiento armado. Prefiere desarrollar su sentido cosmopolita, identificándose con arquetipos extranjeros, con los mensajes publicitarios y con la tecnología alcanzada. Se presentan algunos intentos de formar una mirada nacionalista principalmente con el movimiento Vasconcelista que encuentra en la construcción de arquitectura neocolonial una respuesta a lo mexicano pero que progresa poco pues compite con la vanguardia representada por un lado con el funcionalismo del Arq. Juan O'Gorman, y por el otro por el *Art Déco*, que extendía su influencia hasta los artículos para el uso de los espacios como muebles, lámparas, telas; hasta artefactos de uso directo personal y de usuario, como vestidos y joyería. Parte de su popularidad se debió a que sus productos no se obtenían en galerías, sino en las tiendas departamentales, donde se exhibían en los aparadores. Dentro de la tecnología con estilo Déco encontramos el automóvil y el avión en medios de transporte; el radio, el teléfono y el fonógrafo como medios de comunicación, y los electrodomésticos como la lavadora, el refrigerador y la licuadora, de uso doméstico.[69]

En este ambiente se concibe el proyecto de La Nacional con la característica de un diseño con arquitectura moderna, inspirado por el fervor constructivo de rascacielos en Chicago y Nueva York, capitalizándolo a la cultura mexicana, producto de la tecnología del concreto y del acero en un edificio robusto y rígido, alto y firme, donde dos de las compañías que proporcionaban materiales para la construcción –la compañía fundidora de Fierro y Acero de Monterrey y la Tolteca- mostraban la eficiencia de sus materiales en un edificio diseñado y construido enteramente en México.

[69] MUNAL. (1997) *Op. Cit*. p. 57

Figura I.38 Vizcaínas 12 y 14 (1922), Edificio LACOMSA (ca. 1940), Central de Ferrocarril de San Luis Potosí (1936) Edificio La Marsicala (1950), del arquitecto Manuel Ortiz Monasterio. OMG, 2013, JMR, 19??.

Los arquitectos autores del proyecto de este edificio fueron Manuel Ortiz Monasterio, Bernardo Calderón y Luis Ávila, reconocidos por la revista *Tolteca* en 1931 como arquitectos "[…] cuya principal preocupación no es […] sino cuidar de que cada peso que por su conducto se invierta en la construcción de una casa o un edificio, reditúe al propietario un buen tipo de interés por el más largo periodo de tiempo que sea posible."[70], refiriéndose a que éstos hacían uso del concreto en sus obras, y hablando evidentemente de las ventajas de aquél material, lo cual puede verse en la misma revista cuando se cuestionan "Por qué tienen tan decidida preferencia por el concreto, estoy seguro de que le contestarían: "Porque, en nuestro concepto, este sistema de construcción, por su estabilidad y belleza, así como por su resistencia al fuego y al temblor, es el más económico que podemos ofrecer a nuestros clientes.""[71] Su trabajo como equipo de arquitectos no sólo quedó en La Nacional sino en el edificio La Mariscala, en Eje Central Lázaro Cárdenas y Puente de Alvarado, construido entre 1943-1945.

Manuel Ortiz Monasterio Propham, nació en la ciudad de México en 1887 hijo del marino Ángel Ortiz Monasterio de quien se sabe que fue de las primeras personas que trajeron el concreto armado a México, lo cual explica su afinidad por ese material. Estudió en la Escuela de Arquitectura de la Academia de San Carlos en un periodo en que fue profesor Adamo Boari, quien tenía la idea de que si se daba a una obra o escuela arquitectónica del pasado el suficiente mérito como para repetirlo […] debería copiarse fielmente[72]. Este pensamiento debió dejar en Ortiz Monasterio un serio impacto sobre lo que era el quehacer de la arquitectura, que vemos reflejado en sus primeros trabajos, los cuales siguen con la escuela del revival. Ejemplos de esto los tenemos en la estación de Ferrocarriles en Durango (1922), la Central de Ferrocarril de San Luis Potosí (1936) y la casa en Córdoba 71 (1922), así como la de Reforma 59 (1922). En los años siguientes, se nota en sus diseños un giro hacia el nacionalismo con estilo neocolonial que plasmó en obras como la casa en Artes, Reforma 234 y Vizcaínas 12 (1922-23). Ortiz Monasterio adquirió relevancia dentro de la escena arquitectónica de México, por lo que se le encomendaron proyectos de mayor envergadura, como en 1929 cuando se le encargó estudiar la cimentación de la

[70] TOLTECA (revista), Marzo 1931. Núm. 18.
[71] Íbidem
[72] KATZMAN (1964) Op. Cit. p.44.

Catedral Metropolitana y su Sagrario, siendo el Ing. Roberto Gayol el encargado de la evaluación del estudio. En 1931, junto con el entonces director de la Escuela Nacional de Ingeniería, el ingeniero Mariano Moctezuma, el pintor Diego Rivera y Federico Sánchez Fogarty, gerente de ventas de la empresa Tolteca, fue parte del jurado para el concurso que pretendía dar a conocer las nuevas instalaciones de la fábrica de cemento Tolteca, localizada en Lomas de Becerra, San Pedro de los Pinos. En la década de los 40's retoma un estilo californiano barroco en el edificio de LACOMSA, en Juárez. Finalmente, dentro de sus últimas obras, se encuentra el edificio de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro en Marina Nacional y Melchor Ocampo en 1955-57.

En cuanto a Bernardo Calderón, nació en Puebla, México en 1886. Recibió el título de Arquitecto en la Academia de San Carlos donde al igual que Ortiz Monasterio tomó instrucción con Adamo Boari. En 1924, junto con Juan Galindo Pimentel, se hizo cargo de la sección de arquitectura del periódico *Excélsior*. Colaboró con Ortiz Monasterio teniendo su oficina en Capuchinas 41, México D. F., como indica un anuncio en la revista Tolteca.

De Luis Ávila, la información biográfica es escasa. Todas las fuentes en que se menciona a La Nacional nombran a los tres nombres como los arquitectos autores del proyecto, aunque sin especificar qué tarea específica hizo cada uno. El periódico *El Universal* en su artículo sobre la inauguración del edificio hace mención además del Arq. José Luis Cuevas, quien era conocido en ese entonces por ser el autor del

La Nacional
CIA. DE SEGUROS SOBRE LA VIDA, S.A.

inaugura hoy, 27 de diciembre de 1932, su nuevo edificio, levantado sobre los cimientos de la confianza pública, y lo dedica, como un signo de optimismo en los tiempos nuevos, a la Ciudad de México y a la Nación entera.

LA NACIONAL invita a todo el público a que visite esta obra, que, además de ensanchar desde su altura máxima el horizonte del Valle, representa una magnífica inversión, porque finca en el corazón mismo del país, la más sólida garantía para sus asegurados.

Las puertas del Edificio estarán abiertas al público que desee visitarlo, desde las 15 hasta las 17 horas.

Escuche Ud. hoy el concierto que, a control remoto, transmitirá desde el Edificio de LA NACIONAL, la Estación X E B, de las 12 a las 14 y de las 18 a las 19 horas.

La Nacional
Cía. de Seguros Sobre la Vida S.A.
FUNDADA EN 1901

tiene el gusto de anunciar la inauguración de su nuevo edificio, para el próximo martes 27 de diciembre de 1932.

Esta gran obra arquitectónica, que representa una fuerte inversión comercial y fija un nuevo y erguido punto de referencia en el mapa de la Ciudad, es el resultado natural de una política de previsión social, de parte de nuestros asegurados y de organización cuidadosa y firme, de parte nuestra.

Nos complace comunicar a nuestros clientes, especialmente, y a todo el público, que el éxito de este edificio, como inversión de primera clase, está ya asegurado, pues a la fecha, antes de la inauguración, se ha rentado a empresas y profesionistas de sólida reputación.

Figura I.39 Invitación de la Compañía de Seguros La Nacional a la Inauguración de su edificio. El Universal, 1932.

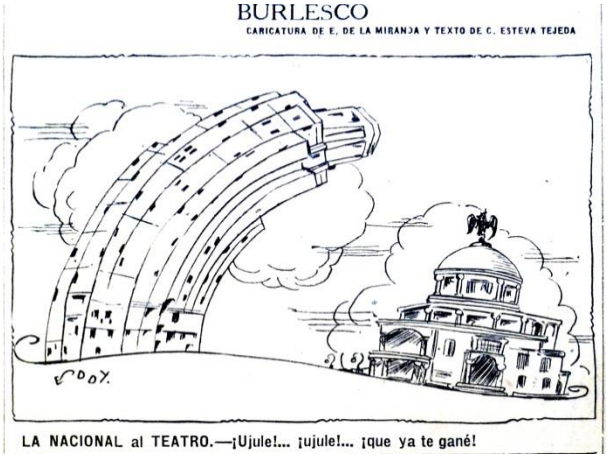


Figura I.41 Burlesco. El Universal, Diciembre 1932.

fraccionamiento Hipódromo-Condesa donde incluyó el parque México con un estilo siguiendo las tendencias Déco, por lo que su participación en La Nacional, un edificio Déco, no es una idea descabellada.

Por último, me gustaría apuntar la importancia que tiene este edificio en la sociedad de México de 1930. El rascacielos mexicano nace en una sociedad optimista. En el mundo, las heridas que dejaron la Primera Guerra Mundial habían quedado en el pasado y se miraba con muy buenos ojos el futuro y el desarrollo que había alcanzado la humanidad. En México, la esperanza de la prosperidad muestra a una sociedad que lentamente busca su identidad en la modernidad. Los periódicos y revistas de la época engrandecen las proezas de los pilotos que logran hacer el primer viaje aéreo de México a Nueva York, mientras que anuncian los nuevos desarrollos de la ciudad. Publican notas como "El México viejo y las construcciones modernas"[73] y entrevistas con arquitectos que hablan de la nueva arquitectura[74], junto a los anuncios de La Tolteca donde engrandece las ventajas del uso del concreto.

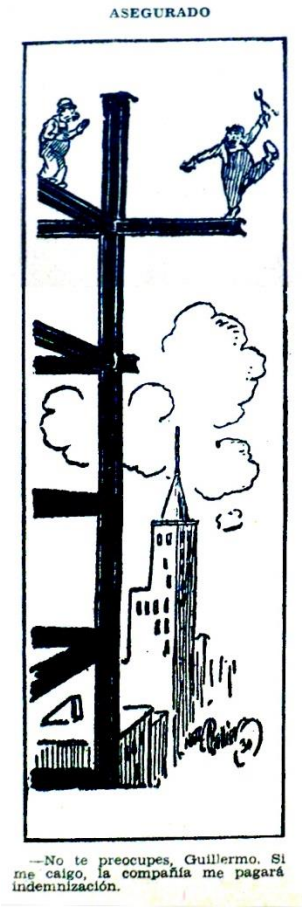


Figura I.40 Asegurado, Excélsior. 1932

Días antes de la inauguración del edificio, los periódicos mostraban anuncios de La Nacional Compañía de Seguros sobre la Vida S. A. invitando a la población a la ceremonia de inauguración el día 27 de diciembre de 1932 (figura I.39). El día después a esa fecha, los mismos periódicos daban cuenta de los pormenores que habían ocurrido durante el festejo, transcribiendo las palabras de los directivos de la compañía y del regente de la Ciudad, quien acudió en representación del Presidente de la República. En el anexo A se transcriben dos de estas notas, donde se aprecia la relevancia del suceso.

Días después, en una página del periódico El Universal se publicó la caricatura de la figura I.41, en la que se ve a La Nacional ganándole en altura al Teatro Nacional, cuyo proyecto quedó detenido por varios años y había sido retomado al momento de la inauguración de La Nacional. Otra caricatura, mostrada en la figura I.40 también hace alusión a la construcción que veían día a día levantarse los habitantes de la ciudad, donde un trabajador balanceándose en una viga le dice a su compañero de trabajo "No

[73] MENDEZ, Eduardo R. (11 de septiembre de 1932). *El México viejo y las construcciones modernas*. Revista de Revistas. Num. 1165.
[74] ALDEBARÁN. (11 de septiembre de 1932). Tres arquitectos nuevos hablan de la nueva arquitectura. Revista de Revistas. Num 1165.

te preocupes, Guillermo. Si me caigo la compañía me pagará indemnización", lo cual hace pensar en la ausencia de elementos de seguridad para trabajar en las alturas, cosa que no se había visto antes y a la que no estaban acostumbrados los trabajadores, pero más allá de eso, es una prueba de que la construcción del rascacielos fue un suceso en el que se materializaba el porvenir y el desarrollo alcanzados, y los habitantes estaban pendientes de su avance.

La relevancia de La Nacional se nota también en la creación artística. En el cuadro *Concreto* del jalisciense Francisco Rodríguez Caracalla (1935) vemos la conceptualización del edificio piramidal dentro del entorno urbano. De igual forma, Lola Álvarez Bravo coloca en un fotomontaje *titulado Anarquía arquitectónica de la ciudad de México* una serie de edificios de la ciudad, entre los que se encuentra La Nacional. En las dos décadas posteriores a su inauguración, dentro del movimiento estridentista, se retrata una ciudad cosmopolita, la vertiginosa ciudad transformada que comienza a ver su crecimiento vertical, donde el tráfico de San Juan de Letrán mezcla sus luces con las de la vida nocturna. La Ciudad de México crece y sus habitantes se adaptan a la forma de vida urbana, caótica y multicultural que presenta la Capital. El edificio nace en medio del movimiento artístico de la posrevolución donde reconocidos personajes retratan la realidad mexicana, tanto *la mano de la industria de la construcción sostiene la ciudad actual*, como el campo olvidado, o la Revolución juntos forman la reivindicación de lo mexicano. Es una época importante para la Ingeniería porque la infraestructura que había sido seriamente afectada por la Revolución requería de una renovación con proyectos importantes y de gran magnitud e impacto. Con las carreteras se buscaba comunicar las ciudades por medio del automóvil que ganaba popularidad. Con la construcción de presas se controlaban las aguas de los ríos y se usaban para el riego de sembradíos. La Ciudad de México trabajaba en su saneamiento dadas las frecuentes inundaciones. En resumen fueron años de gran actividad, de progreso y de optimismo.

Figura I.42 Francisco Rodríguez Caracalla, *Concreto*, 1935.

Capítulo II

II. DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU ESTRUCTURA

A. Descripción de la construcción

El edificio La Nacional se localiza en la esquina surponiente que forma la Avenida Juárez con el Eje Central Lázaro Cárdenas antes San Juan de Letrán, teniendo su entrada principal en el número 4 de la Avenida Juárez, dentro de las inmediaciones del perímetro B del Centro Histórico de la Ciudad de México.

El inmueble tiene como colindancia al sur una construcción que no ha tenido más de dos niveles como puede corroborarse en los registros fotográficos. Al este se encuentra delimitado por el edificio La Nacional II, construido a mediados del siglo XX[75], que evoca a su vecino en forma y tamaño, aunque con estilo arquitectónico, sistema estructural y materiales de fachada diferentes. Al norte se encuentra la Avenida Juárez tras la cual se levanta el palacio de Bellas Artes, cuya construcción comenzó desde 1904 y que fue terminado en 1934; y finalmente, al oeste se encuentra el eje Central Lázaro Cárdenas, tras el cual se localiza la Torre Latinoamericana de 47 niveles, inaugurada en 1956.[76]

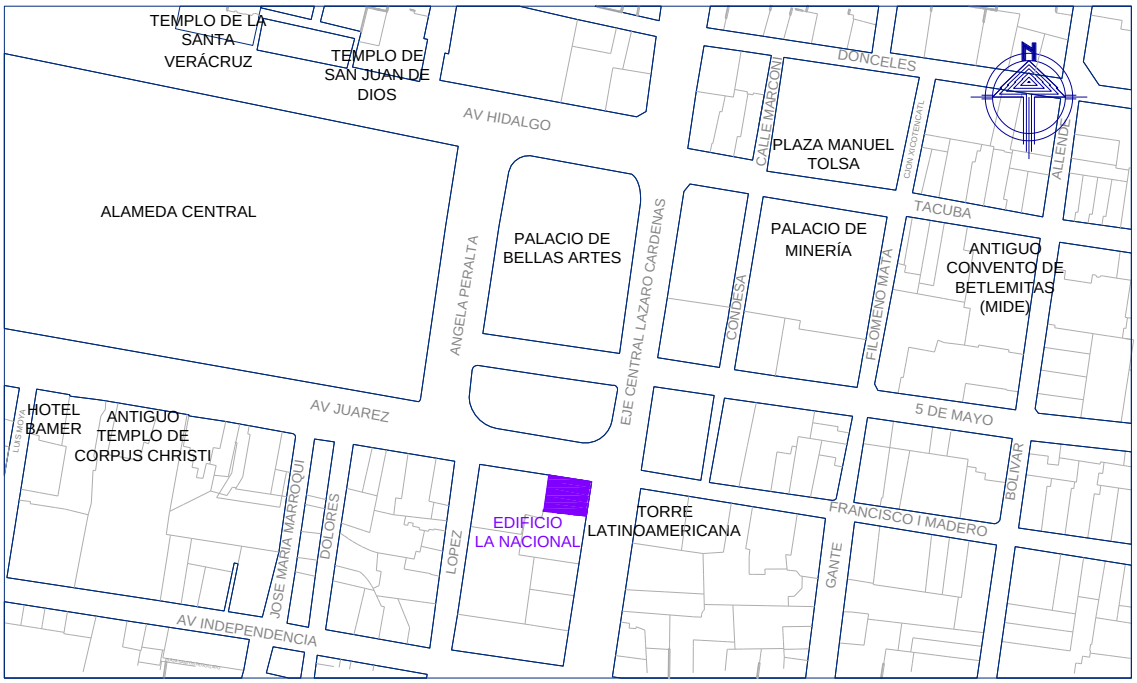


Figura II.1 Localización del edificio La Nacional en el Centro Histórico de la Ciudad de México

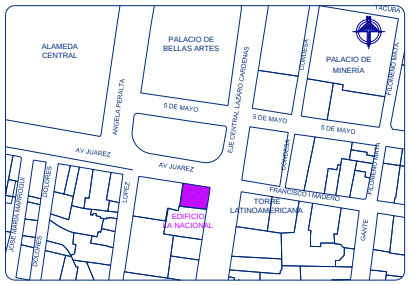
[75] Fotografías de la Compañía Aerofoto muestran en 1947 junto a *La Nacional* un edificio de dos niveles con un anuncio luminoso, mientras que en 1953 muestran ya terminado el edificio *La Nacional II*, por lo que se puede suponer que su construcción fue en ese periodo 1947-1953

[76] De Anda (Coordinador) (2001) op. cit. p. 182, 183, 244

FACHADA OESTE

FACHADA NORTE

Fig. II.2 FACHADAS DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'



RESUMEN DE ÁREAS

NIVEL NA2 =	92 m²
NIVEL NA1 =	92 m²
NIVEL N13 =	323 m²
NIVEL N12 =	323 m²
NIVEL N11 =	561 m²
NIVEL N10 =	561 m²
NIVEL N09 =	659 m²
NIVEL N08 =	659 m²
NIVEL N07 =	659 m²
NIVEL N06 =	659 m²
NIVEL N05 =	659 m²
NIVEL N04 =	659 m²
NIVEL N03 =	659 m²
NIVEL N02 =	689 m²
NIVEL N01 =	587 m²
NIVEL NPB =	698 m²

AREA TOTAL = 8,540 m²

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Revisó: JLTS/OMG	Archivo: LN-CII.2	Escala: SIN	
Dibujo: FACHADAS	Fecha: 17/08/13	Figura: II.2		

La construcción del edificio comenzó en 1930 y terminó el 27 de diciembre de 1932 día en que fue inaugurado.

El terreno sobre el que se levanta la edificación tiene como dimensiones 29.15 m en la parte longitudinal (Este-Oeste) y 23.95 m en la parte lateral (Norte-Sur). El área total de construcción es de 8,859.46 m², distribuida en 13 plantas que se elevan hasta una altura total de 53.675 m. El área correspondiente al sótano es de 761.74 m², a la planta baja es 735.07 m², al primer nivel es de 683.84m², del 2º al 8º nivel es 603.03 m² sumando 4,410.18 m², correspondiendo el resto a los pisos superiores cuyas plantas se van reduciendo. La tabla II-1 reúne la información sobre las alturas y el área de los niveles del edificio.

Figura II.3 Avenida Juárez Ca. 1920. De der. a izq. Casa Guardiola con su respectiva plaza, Casa de los Azulejos, Edificio de Seguros Latinoamericana y edificios anteriores a la construcción del edificio La Nacional

Tabla II-1 Distribución de niveles y área construida del edificio La Nacional

Nivel	Level	Cota			Área Construida	
Sótano	NPS	L01	NPT	- 3.500	761.74	m²
P Baja	NPB	L02	NPT	+ 0.000	735.07	m²
1er Nivel	N01	L03	NPT	+ 3.450	683.84	m²
2o Nivel	N02	L04	NPT	+ 6.200	630.03	m²
3o Nivel	N03	L05	NPT	+ 9.800	630.03	m²
4o Nivel	N04	L06	NPT	+ 12.600	630.03	m²
5o Nivel	N05	L07	NPT	+ 15.900	630.03	m²
6o Nivel	N06	L08	NPT	+ 19.200	630.03	m²
7o Nivel	N07	L09	NPT	+ 22.500	630.03	m²
8o Nivel	N08	L10	NPT	+ 25.800	630.03	m²
9o Nivel	N09	L11	NPT	+ 29.100	594.58	m²
10o Nivel	N10	L12	NPT	+ 32.400	594.58	m²
11o Nivel	N11	L13	NPT	+ 35.700	388.95	m²
12o Nivel	N12	L14	NPT	+ 38.800	388.95	m²
13o Nivel	N13	L15	NPT	+ 41.950	199.57	m²
P Azotea 1	NA1	L16	NPT	+ 44.475	99.42	m²
P Azotea 2	NA2	L17	NPT	+ 53.675	2.58	m²
				TOTAL	8,859.46	m²

B. Descripción de la estructura y su cimentación

El edificio está resuelto con marcos rígidos en dos direcciones, incluyendo además muros de concreto en todo el perímetro que le agregan rigidez al sistema. El sistema de piso está compuesto por losas macizas perimetralmente apoyadas, con un espesor de 20 cm. Las columnas y vigas del inmueble están formadas por perfiles de acero recubiertos con concreto.

El edificio consta de un sótano, una planta principal, trece niveles y dos azoteas. La sección general es de forma rectangular de 29.15 m por la parte norte y 23.95 m por la parte oeste y, a partir del nivel 9, tiene tres reducciones, la última de las cuales llega a una sección de 8.3 m por 6.45 m en el remate del edificio.

La subestructura está formada por un sótano compuesto de muros perimetrales de concreto con plataforma corrida de cimentación y 373 pilotes de madera hincados hasta la primera capa dura, a una profundidad media de 31.5 m.

Según información tomada del periódico del día de la inauguración del edificio, el volumen de la excavación para la cimentación fue de 5,150 m^3, lo que significó un peso de tierra excavada de 8,750 toneladas. Considerando el volumen de la cimentación de 607 m^3, y el área del terreno de 735 m^2, calculamos una losa de fondo de unos 90 cm, misma que fue reforzada con 87 toneladas de acero.[77]

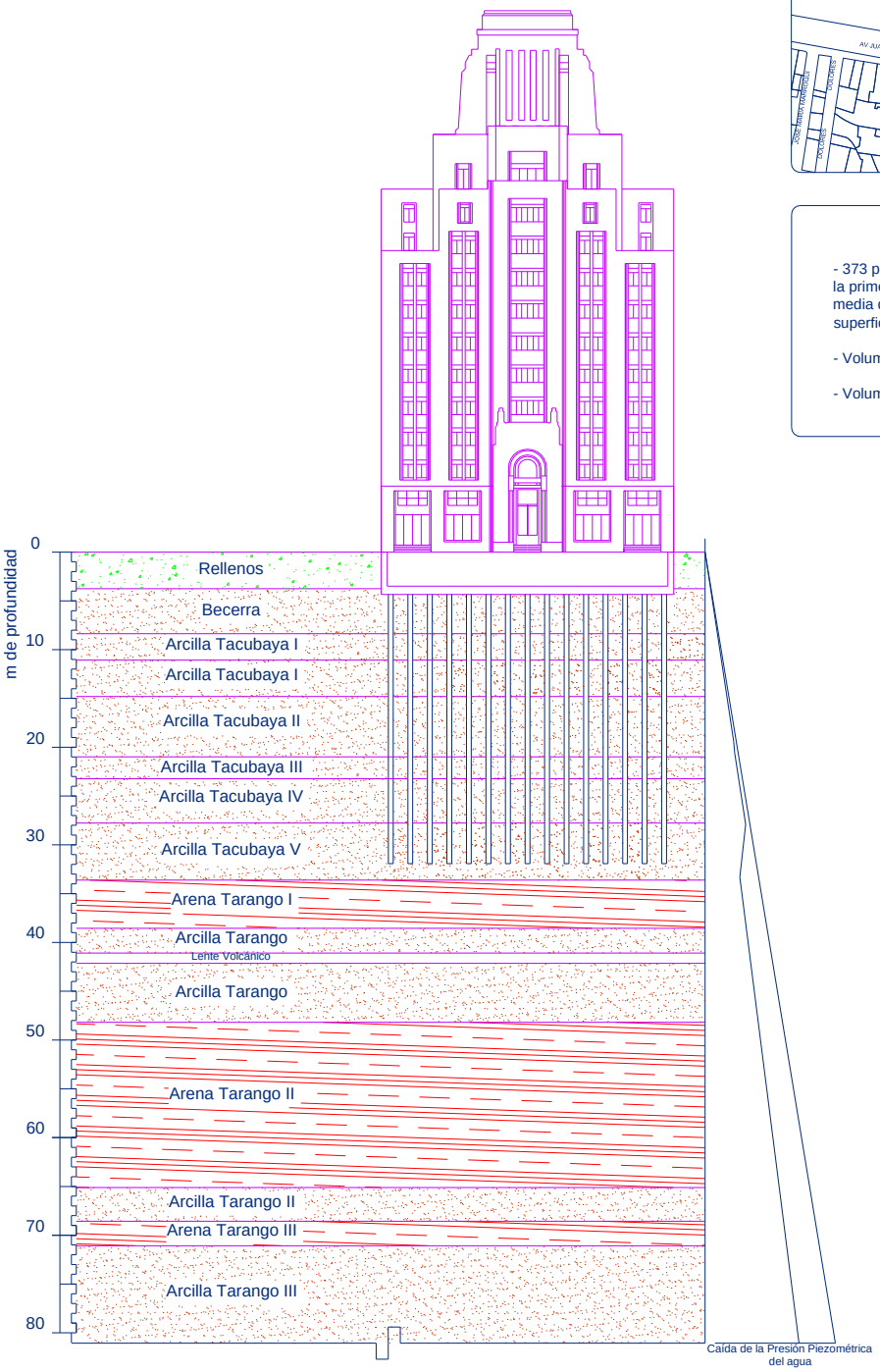
Sobre el diseño de los pilotes no se encontró información más específica que la que mencionan la mayoría de los libros dedicados a la historia de la arquitectura mexicana del siglo XX, donde se enfatiza que fue la primera cimentación en llegar hasta la capa dura. Sin embargo, según Marsal y Mazari, hasta 1949 era frecuente el uso de pilotes de madera para cimentación, y para su diseño se usaba la fórmula empírica del *Engineering News Record* (1888)[78]:

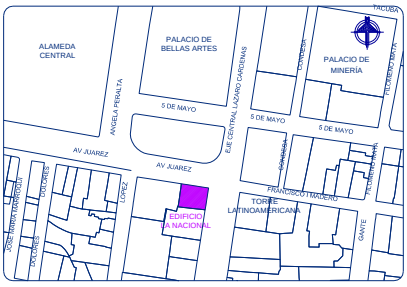
$$q_u = \frac{2 \times w \times h}{s + C}$$

donde q_u : Carga de seguridad
w : Peso del martillo
h : Altura de la caída del martillo
s : Penetración de la pila por golpe
c : Constante adicional a s (25.4mm para martillo de caída o 2.54 mm para piloteadora de vapor).

La carga de trabajo se estimaba en 15 ó 20 toneladas. Multiplicando esta carga por el número de pilotes tenemos que los pilotes se diseñaron para soportar una carga en un rango de 5,595 a 7,460 tonf, valores que son menores que el peso del edificio estimado en 10,000 toneladas, por lo que el resto de la descarga se puede asumir como tomada por compensación en el nivel del sótano.

[77] *El Universal*, 28 de diciembre de 1932.
[78] MARZAL y MAZARI (1959). *Op cit*. p 302. La fórmula fue tomada de: http://home.iitk.ac.in/~aprashan/ce632/PPT/CE%20632%20Pile%20foundations%20Part-2%20Handout.pdf





CIMENTACIÓN

- 373 pilotes de madera hincados hasta la primera capa dura, a una profundidad media de 31.5 m debajo del nivel de superficie.

- Volumen de la excavación = 5,150 m3

- Volumen de la cimentación = 607 m3

Fig. II.4 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA		
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ		
Contiene: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Apoyo: JLTS/OMG	Archivo: LN_CII.3	Escala: SIN
Dibujo: PERFIL ESTRATIGRÁFICO	Fecha: 17/08/13	Lámina: II.4	

En relación con el corte estratigráfico del subsuelo en esa zona, dado que es la parte lacustre de la ciudad, se encuentra la configuración típica de la zona de lago. La estratigrafía se compone de la costra superficial o rellenos en los primeros 3 metros por debajo del nivel de calle, de los 3 m a los 33 m la serie arcillosa superior compuesta de arcillas altamente compresibles correspondientes a la formación Tacubaya. Posteriormente se localiza la capa dura, compuesta por arenas de la formación Tarango, con un espesor de aproximadamente 4 m y debajo de éste y hasta una profundidad rondando los 50 m se ubica la serie arcillosa inferior con arcillas más compactas correspondientes a la formación Tarango. Debajo de esta serie se encuentran los depósitos profundos. [Fig II.4]

La estructura de acero fue fabricada y montada por la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey S. A. en 1931. El concreto de muros, sistema de piso y con el que se revistieron las secciones de acero fue proporcionado por la compañía de cementos Tolteca.

En cada piso hay generalmente 42 columnas distribuidas en las intersecciones de los ejes de forma más o menos simétrica, a excepción de las que se encuentran en los ejes D y E entre los ejes 2 y 3 (eje llamado 2A), donde se ha colocado un eje secundario a 1.3 metros de distancia del eje 3. Las columnas perimetrales (las que están en los ejes 1, 6, A y H) son de sección rectangular de 0.44 m X 0.44 m. Las columnas internas son similares a las perimetrales sólo que de forma octagonal.

Las vigas están dispuestas en todos los ejes uniendo los capiteles de las columnas con un promedio de 73 elementos por cada piso. De igual forma son secciones de acero con un recubrimiento de concreto, formando vigas de 22 cm de ancho por 32 cm de peralte.

Los muros perimetrales son de concreto con espesores que varían en dimensión según se adaptan para formar el estilo arquitectónico. Van desde los 0.2 m en las secciones más pequeñas debajo de las ventanas, hasta espesores de 1 m en la fachada principal. Las divisiones interiores son logradas por medio de muros de tablaroca que no tienen función estructural.

Las escaleras son monolíticas de concreto con lambrines de mármol. El cubo de los elevadores igualmente es de concreto y cuenta con recubrimiento de placas de mármol.

Figura II.5 Medición de elementos estructurales en La Nacional.

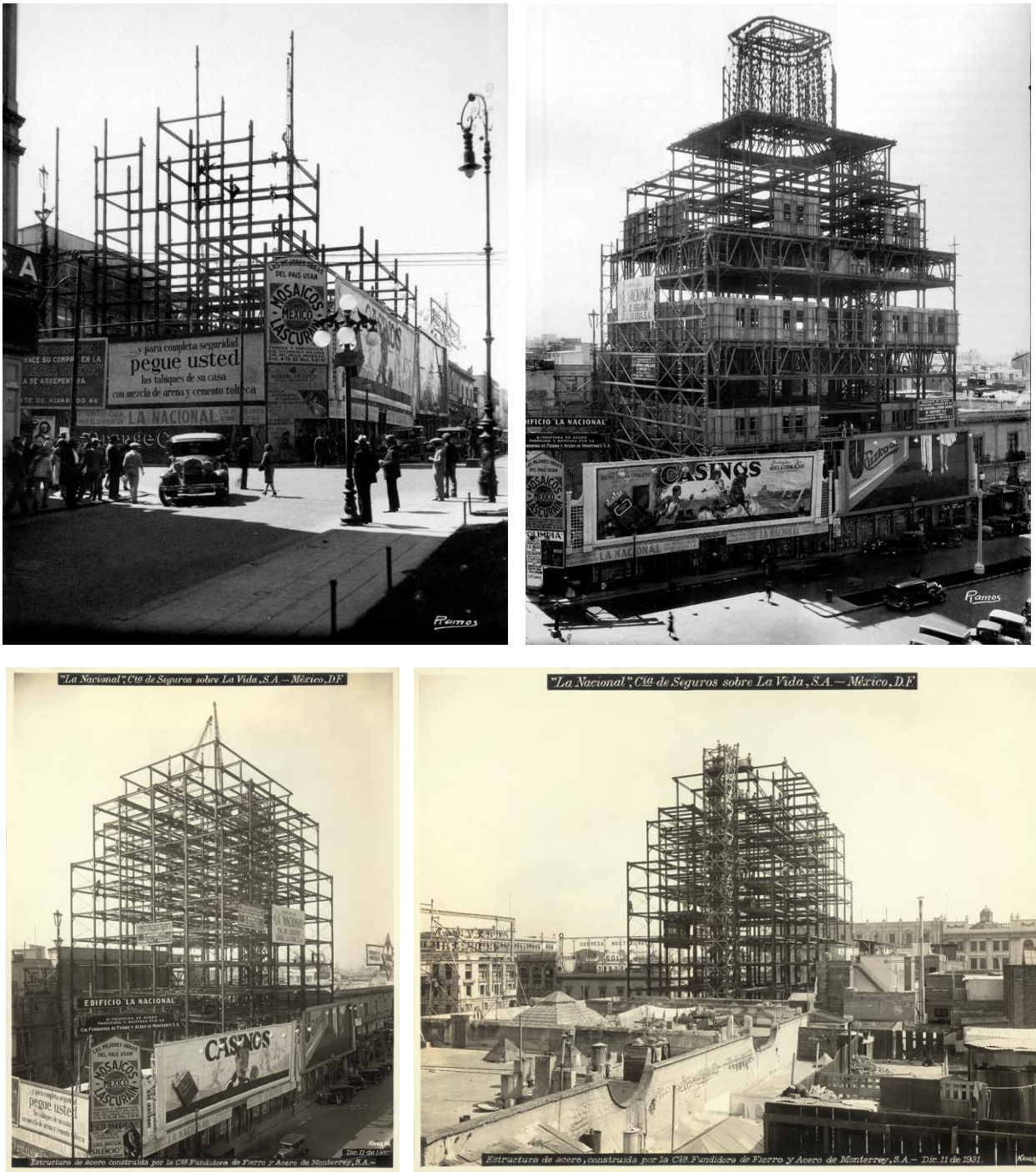


Figura II.6 Imágenes de la estructura de acero del edificio La Nacional el 11 de diciembre de 1931. Fotografías de Guillermo Kahlo, Archivo del Parque Fundidora

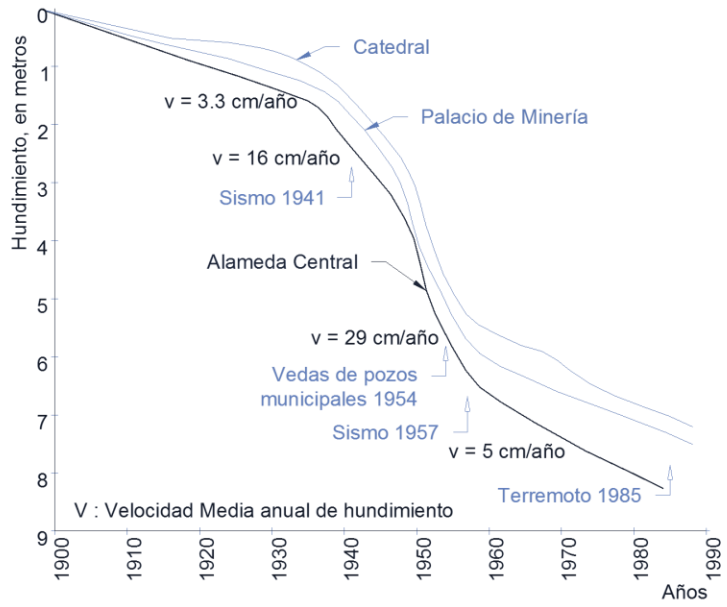


Figura II.7 Hundimiento en Catedral, Palacio de Minería y Alameda Central durante el siglo XX.

No se tiene noticia de que la estructura haya tenido un reforzamiento. Sin embargo, al hacer una revisión visual, se encontraron vigas entre los ejes D y E, y 3 y 4, que son evidentemente posteriores a la inauguración del edificio y que, dado que el claro que salvan es de más de 7 metros, se puede pensar que fueron colocadas para solventar problemas de vibraciones o deflexiones en esa zona central. No fue posible verificar la presencia de éstas en todos los niveles, sin embargo, en los dos niveles a los que se tuvo acceso estaban presentes. (fig. II-5, Izquierda).

La construcción ha presentado un buen funcionamiento a lo largo de su vida, soportando de manera satisfactoria los grandes temblores que han ocurrido en la Ciudad de México en el siglo XX: 1957, 1979 y en especial el de 1985 que provocó graves daños en gran cantidad de edificios en las inmediaciones del centro histórico de la Ciudad de México.

El único problema que la estructura ha presentado es un desplomo que tiene hacia el oriente. Para este trabajo no fue posible determinar la magnitud de la falta de verticalidad, pero es muy probable que sea mayor al 5% pues es bastante evidente casi desde cualquier punto que se mire al edificio. El motivo de dicho desplomo puede deberse a varios factores, entre los que se pueden mencionar el vado que se encuentra en el lado poniente de la estructura, que pudiera provocar cierta asimetría en las cargas; además, los diferentes espesores de los muros de fachada que logran el estilo arquitectónico provocan que sean más pesados que aquellos muros de colindancias, lo cual podría incrementar dicha excentricidad. Asimismo, algunos factores externos pudieron afectar la configuración del suelo debajo del edificio como son la excavación que se hizo para la construcción de la Torre Latinamericana a mediados de siglo, el edificio contiguo al que se le adaptaron pilotes de control y el muro Milán con que se construyó en 1993-94 el cajón de la línea del Sistema de Transporte Colectivo Metro que recorre el Eje Central frente al edificio.

Existen registros como el de la figura II-7 que muestra el nivel de hundimiento que han tenido tres puntos representativos en el centro de la ciudad, siendo el de la Alameda Central el más cercano a la edificación, lo cual resulta ilustrativo para considerar los niveles de hundimiento a que ha sido sometida la estructura, y puede ayudar a comprender el motivo del desplomo. Como se observa, a partir de la cuarta década del siglo XX y hasta finales de los años 50, el incremento en el nivel de hundimiento fue impulsado por la extracción de agua del subsuelo, resultado del incremento en la población de la ciudad. Este problema llevó a las autoridades del Distrito Federal a declarar una veda para la explotación de pozos y la clausura de otros tantos cercanos a los lugares por los que se construyó el Sistema de Transporte Colectivo Metro

a finales de los años 60, lo cual redujo en gran medida los niveles de asentamientos. Se encontraron indicios de la existencia de un pozo artesiano en 1892 en el predio en el que se construyó el edificio, sin embargo, la influencia de éste en el comportamiento de la estructura es incierta.[79]

Hasta aquí se ha mencionado de manera general la situación actual del edificio, tratando de ser lo más detallado posible, con la intención de describir la estructura real. El objetivo de esta tesis es hacer la comparación entre dos soluciones estructurales para el mismo edificio, soluciones que incluyen consideraciones y avances en materia de análisis estructural que al respecto se ha tenido en México con una separación de 80 años. La primera de estas soluciones es un diseño utilizando algunos de los criterios que se usaban en la cuarta década del siglo XX para la construcción de edificios. La segunda solución es tomando en consideración la reglamentación que existe en la Ciudad de México en 2013. Ambas soluciones son para proporcionar un edificio con las mismas características que se han mencionado en este capítulo, aunque se ha tomado la libertad cuando ha sido necesario de cambiar algunos aspectos que a falta de información se consideran para la estructuración y el análisis. Dicha carencia de información se debe en parte a la antigüedad del edificio, es difícil que se mantengan planos y registros estructurales de una edificación por más de 80 años. Asimismo, la ausencia de información técnica respecto al edificio en literatura relacionada se debe a que fue concebido para una empresa privada, y hablar del edificio resultaba invariablemente en brindarle publicidad a la compañía, a diferencia de construcciones de la época financiadas por el gobierno, como escuelas y hospitales, de los que por lo menos existen planos. De igual manera, la dificultad para realizar pruebas de materiales con equipos que se utilizan en la actualidad fue una limitante en los datos con los que se contó; sin embargo, se buscó solventar este tipo de obstáculos con la búsqueda de información en fuentes alternas no directamente relacionadas con el edificio, pero sí con la forma de hacer ingeniería en la época en que se diseñó y construyó.

La Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey poco después de su fundación en 1900, comenzó a publicar un Manual para constructores con información de los perfiles que fabricaba y sus propiedades (a partir de aquí, se referirá a este manual como Manual Monterrey). Este documento servía como una guía de diseño dado que cuenta con tablas que indican la capacidad de carga de vigas, columnas y otros elementos. Se desconoce si hay una versión anterior a la de 1906, pero además existen versiones de 1912, 1926 y 1930, ésta última fue la que principalmente se usó en esta tesis. Sólo en algunos casos, para

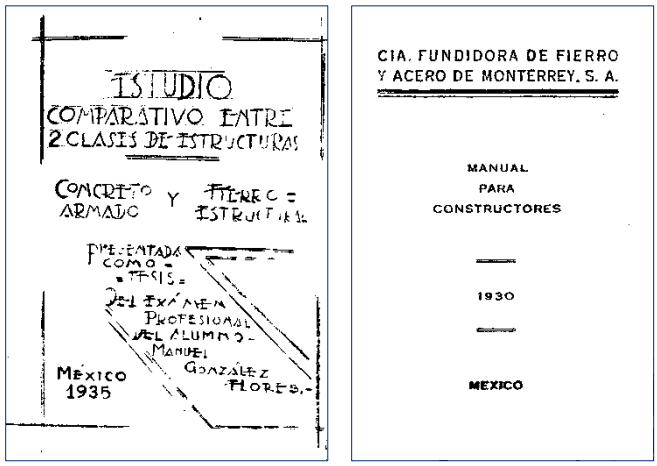


Figura II.8 Tesis sobre la Lotería Nacional de Manuel González Flores, 1935 (Der) y Manual de la Cia. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, 1930 (Izq)

[79] Archivo Histórico de la Ciudad de México: Pozos Artesianos. Vol. 3702, exp. 260, fj 3, Año 1892. Valle Dolores U., manifiesta tener un pozo artesiano excavado, Avenida Juárez no. 4.

elementos que se especificarán más adelante, se recurrió a la versión de 1937.

Por otra parte, se encontró la tesis de licenciatura del Ing. Manuel González Flores[80] escrita en 1935 y que lleva por título: "Estudio comparativo entre 2 clases de estructuras: Concreto Armado y Fierro Estructural". En esta tesis se realiza la comparación entre dos soluciones estructurales para el edificio de la Lotería Nacional (referida a partir de este punto como Lotería Nacional)[81]; y se describen hipótesis y metodologías que se usaban en aquellos años para el dimensionamiento de elementos estructurales, empleando para ello el Manual Monterrey de 1930. Ese trabajo lo realizó el Ing. González Flores después de formar parte del equipo de trabajo del Ing. José Antonio Cuevas, otra importante figura dentro del ámbito ingenieril de la época, director de la entonces Escuela Nacional de Ingenieros y pionero en el sistema de cimentación flotante utilizado en ese mismo edificio.

Con estas consideraciones se procedió al dimensionamiento de la solución de 1930 de La Nacional considerando estas dos fuentes principalmente.

Para efectuar la revisión estructural de la solución actual, se tomarán como base las disposiciones que se especifican en el

- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-04)

Así como sus correspondientes normas técnicas complementarias (NTC):

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-C)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas (NTC-M)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-C)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC-S)
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento (NTC-V)

C. Tipificación de la construcción

El RCDF-04 establece en su artículo 170 la clasificación y localización de las zonas en que se divide el Distrito Federal para fines de cimentaciones. Según dicha clasificación y considerando su localización, el edificio *La Nacional* se ubica dentro de la denominada zona III o zona de lago, y que se define como:

> Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios

[80] Quien es conocido entre otras cosas por haber creado los pilotes de control. En 1972, se le encomendó una segunda re cimentación de la Catedral Metropolitana implementando su sistema de pilotes de control.

[81] Edificio también conocido como "El Moro", construido de 1938 a 1946, de 22 pisos, ubicado en la plaza de la Reforma no. 1.

metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto es superior a 50 m.

Adicionalmente a esta clasificación, las NTC-Sismo establecen en su sección 1.4 que la **zona III** definida en el artículo 170 se divide en cuatro sub-zonas según la figura II-7. De acuerdo con esto, el predio del edificio La Nacional se encuentra en la **subzona III-B**.

Respecto a la importancia de la edificación, en su artículo 139, el RCDF-04 establece los diferentes grupos en que se clasifican las construcciones para la revisión de la seguridad estructural. Conforme dicha clasificación, La Nacional pertenece al **grupo B**, correspondiente a edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el grupo A. A su vez, este grupo se divide en dos subgrupos, perteneciendo el edificio considerado al **subgrupo B1**, que incluye a las edificaciones de más de 15 m de altura o más de 3000 m^2 ubicadas en zona III.

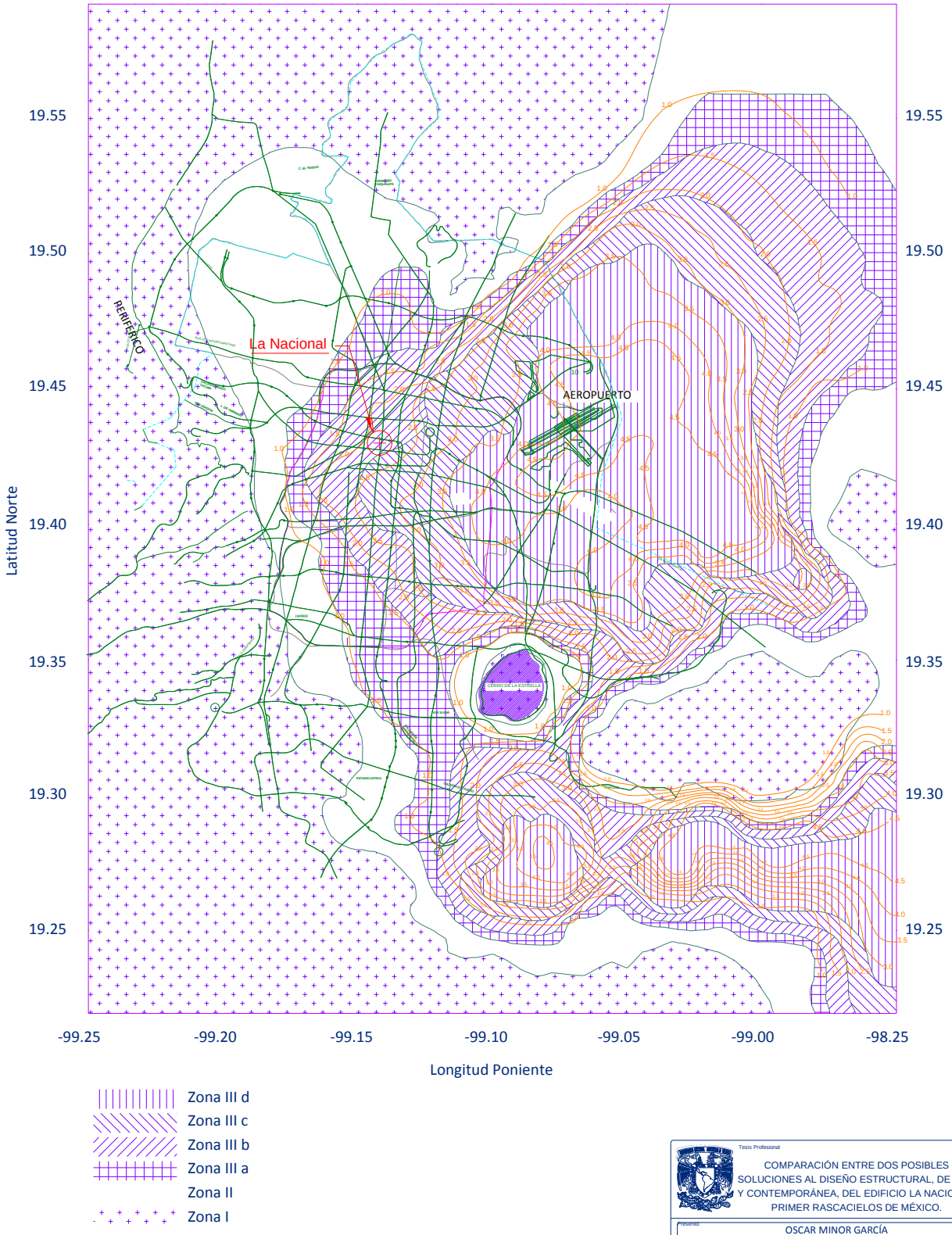


Fig. II.9 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO, RCDF-2004

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presentó:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CII.9	Escala: SIN	
Dibujo: ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	Fecha: 17/08/13	Figura: II.9		

D. Proyecto y levantamiento arquitectónico

El proyecto para el edificio de seguros La Nacional estuvo a cargo de los arquitectos Manuel Ortiz Monasterio, Bernardo Calderón Caso, José Luis Cuevas y Luis Ávila.

Figura II.10 Detalle de la entrada al edificio La Nacional

En el caso de La Nacional, la forma piramidal del edificio, de inspiración prehispánica, fue la adaptación al contexto mexicano de la idea del rascacielos neoyorquino, adaptada a un contexto que no fue regido por la falta de espacio sino por la solidez que representa una construcción para una compañía de seguros. No se encontró información específica sobre quien impulsó la idea de construir el edificio para la compañía, pero sin duda fueron los directivos quienes vieron en este tipo de construcción una forma de promover su negocio, pidiendo a los arquitectos que con el edificio se lograse ese concepto. El discurso pronunciado por el señor Williams da indicios de esto: "la decisión de construir esta gran obra arquitectónica nació del deseo de ofrecer a todas las personas aseguradas en nuestra Compañía una demostración palpable de la firmeza en nuestra institución, financiando en el corazón mismo de la urbe, el dinero confiado a nosotros por considerar que dentro del programa de invertir en el país, la inversión debe ser hecha con todo cuidado, para que su bondad garantice los intereses de los asegurados."

El proyecto arquitectónico es el típico de un rascacielos dedicado a oficinas que encontramos en edificios posteriores pero de la misma época, y que fue innovador por lo menos en México en los años en que se inauguró La Nacional. Al centro se ubican los elevadores y las escaleras que permiten la comunicación vertical y las oficinas se ubican alrededor de éstos, logrando la máxima eficiencia en la distribución de los espacios internos. Los primeros dos pisos son dedicados a locales comerciales a nivel de calle sin tener comunicación directa con oficinas. El acceso al edificio es por un amplio vestíbulo. Se prescinde del patio central contando sólo con dos pequeñas entrantes que permiten la entrada de luz y la colocación de instalaciones en los linderos de los predios adyacentes. En su mayor parte, el conjunto está regido por la simetría.

La Nacional es una muestra del estilo arquitectónico *Art Déco,* heredero de los rascacielos neoyorquinos con forma piramidal que se construyeron en la cuarta década del siglo XX. Consiste en cuerpo prismático rectangular de planta casi cuadrada, al que a partir del nivel 9 se le suprimen las esquinas dejando un prisma con planta en forma de cruz de dos niveles. A éste se sobrepone otro prisma rectangular eliminando las salientes de la cruz inferior, y remata el conjunto una torreta rectangular con contrafuertes geometrizados que le da altura y fuerza visual al proyecto.

Cuenta con dos fachadas sobre el lindero del predio: la principal al norte sobre Av. Juárez, y la segunda al este sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas. Visto de frente, la fachada puede dividirse en 4 secciones de abajo hacia arriba como se muestra en la figura II-11.

La primera sección la encontramos recubierta con granito oscuro y la componen la Planta Baja y el primer nivel, en donde se localiza la entrada principal y los locales comerciales. De la Planta Baja, la sección central es el pórtico de entrada que se eleva hasta el tercer nivel. Sobre la puerta de entrada hay un pequeño relieve y sobre éste, un balcón que remata con un arco de medio punto arriba el cual se lee en letras doradas *La Nacional Compañía de Seguros sobre la Vida S.A*. Dos astas de herrería flanquean los costados del balcón. Las secciones laterales de la Planta Baja son entradas a los locales comerciales y las dos secciones restantes sirven como aparadores para dichos locales. El primer nivel lo componen cuatro ventanales rectangulares que pertenecen también a las tiendas.

Figura II.11 Detalles de ventanas en fachada y torreta de remate del edificio La Nacional

El resto del edificio tiene un recubrimiento de concreto aparente, color pardo. La segunda sección vertical lo conforman el conjunto de ventanas que se levantan hasta los niveles 9, 10 y 11 en cinco hileras verticales en el plano principal de fachada. La tercera sección la forma una prolongación de las ventanas de los niveles 10 al 13, pero en un plano interior al edificio. Finalmente, el cuarto nivel de fachada es la torreta de remate que corona el conjunto hasta el nivel más alto del edificio y que consiste en un prisma rectangular cuyas caras tienen cuatro ventanales alargados en todo lo alto. Contrafuertes de concreto se levantan en las aristas del prisma.

Por el lado oeste, la fachada es similar a la del lado norte, a excepción del pórtico de entrada que es más austero pues no llega al nivel 4 sino que se limita hasta el nivel 1.

Siguiendo las cualidades que caracterizan el estilo *Déco*, el edificio cuenta con un pequeño relieve sobre

Figura II.12 Fachada Norte del edificio *La Nacional*, dividida en 4 secciones.

la puerta de entrada de la fachada principal. En este se muestra a un ángel que con sus brazos cubre a un hombre colocado a la izquierda y a una mujer a la derecha. Sobre las piernas de la mujer se encuentra un niño que es alcanzado por la mano derecha del ángel. En su mano izquierda, el ángel sostiene un cofre. El relieve es una alegoría sobre la importancia de la familia en el ámbito de los seguros. En la esquina inferior izquierda del relieve se puede leer "fundió Albarrán y Pliego", haciendo referencia al escultor toluqueño Luis Albarrán y Pliego. [Fig. II-13].

Figura II.13 Detalle del relieve de fachada del edificio La Nacional

La entrada al edificio es al nivel de calle por una escalinata al centro de la fachada norte. En el cuarto peldaño se encuentra la puerta de dos hojas, corrediza, forjada con chapa de acero inoxidable con motivos compuestos por líneas paralelas verticales y horizontales. La escalinata se prolonga hasta un descanso en donde se localiza una segunda puerta con hoja de vidrio, y se extiende hacia un segundo cuerpo para encontrarse con un amplio vestíbulo de doble altura con paredes de mármol travertino color verde oscuro. Al fondo se localizan los tres elevadores que dan servicio al edificio. A la derecha se encuentra una recepción y detrás, las escaleras internas con su característica herrería Déco. Tras los elevadores se localizan los servicios sanitarios y unas escaleras adicionales.

A partir del segundo piso las plantas son regulares sólo cambiando la distribución de los espacios internos por medio de muros divisorios conservando la posición de comunicación vertical y los servicios sanitarios. Generalmente, frente a los elevadores, se tiene una puerta de cristal que divide el pasillo del vestíbulo de cada piso. Las oficinas se encuentran en el perímetro del edificio y en raras ocasiones se tienen espacios cerrados internos, y son logradas por muros divisorios de yeso, algunos de los cuales tienen ventanas que comunican visualmente con el área común de cada piso. Los muros divisorios y de concreto, así como las columnas están pintadas de color blanco buscando el máximo aprovechamiento de la luz natural suministrada por el gran número de ventanas perimetrales. Los pisos son de alfombra en el área de oficinas y mármol con motivos y figuras correspondientes al estilo *Déco*, en los espacios de comunicación como los elevadores y escaleras.

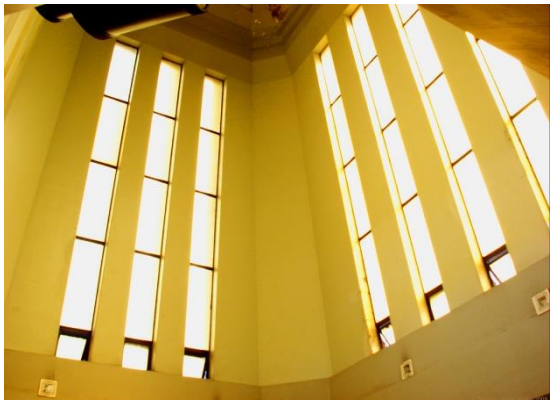


Figura II.14 Interior de la cúspide en La Nacional.

El nivel doceavo lo compone el remate del edificio. Este es un espacio pequeño y cerrado de casi 9 metros de altura y de 8.3 m X 6.45 m, iluminado por 14 ventanas alargadas en altura colocadas 4 al norte y sur y 3 al este y oeste, y cuyos vidrios son de color ámbar, lo que provoca la entrada de luz de esa tonalidad.

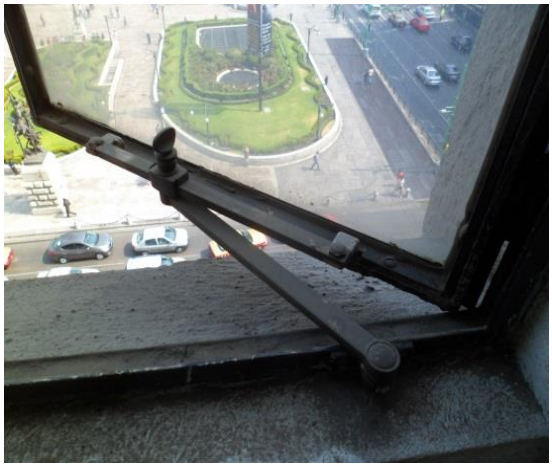


Figura II.15 Detalle del seguro instalado en las ventanas de La Nacional.

En los niveles de oficinas, la iluminación artificial es suministrada por lámparas fluorescentes montadas sobre un plafón. Sólo en algunos espacios como escaleras y pasillos de los elevadores se conservan lámparas afines con el estilo *déco* del edificio. Las instalaciones sanitarias se localizan en la parte trasera del edificio, aunque algunas oficinas también cuentan con baños propios cuya tubería es ocultada también por el plafón. En el sótano se ubica una cisterna que provee de agua a todos los pisos. El edificio no cuenta con sistema de aire acondicionado o calefacción debido a que en la ciudad no existen condiciones abruptas en la temperatura y las edificaciones en la época en que se construyó aún no adaptaban este tipo de comodidades.

Existen en el edificio algunos detalles que dan cuenta de las soluciones dadas por los arquitectos a problemas específicos de la época que, vistos 80 años después, resultan meras curiosidades. Uno de estos detalles es el sistema interno de correo instalado en el edificio. Consiste en un buzón situado en cada piso conectado a un conducto totalmente vertical por el que los sobres descendían hasta el buzón principal localizado en el vestíbulo. Esto nos habla evidentemente de la concepción tan distinta que se tenía en esa época de la comunicación y la importancia de este medio en las actividades diarias.[82] Otro detalle que me parece ingenioso es el seguro instalado en cada ventana con el cual se dejaba fija cierta abertura, evitando que el viento cerrara o abriera las ventanas (fig. II.15).

La figura II.16 muestra cuatro propuestas para el concurso del edificio anexo a La Nacional. En las bases de dicho concurso se especificó que el nuevo edificio habría de tomar en cuenta el ya construido, y como se puede apreciar, las propuestas buscaban una armonía entre las dos edificaciones excepto la de Mario Pani, que se declaró fuera de concurso, y que a juzgar por la imagen, proponía una modificación mayor en el edificio ya entonces construido para lograr hacer dos construcciones que parecieran una sola. El primer lugar lo ganó la propuesta de Alonso Mariscal, y al parecer fue el que se construyó, y en la parte inferior de la misma figura se muestran ambos edificios. Los dos inmuebles no están comunicados en el interior, y el segundo a pesar de que su estética es más austera, como respetando la importancia que tiene su vecino, en algún momento sufrió una remodelación para que se armonizara entre ambos edificios, pues las ventanas corridas horizontales de la parte de en medio hoy en día se muestran con ventanas divididas en secciones más o menos similares.

Sobre este edificio, se encontró un documento elaborado por la empresa COPICOSA, en el que se hace mención que su cimentación estuvo formada por 700 pilotes de madera que soportaban as 15,000 toneladas del edificio. Después del sismo de 1985 la construcción presentaba un desplomo de 105 cm

[82] El término en inglés para este tipo de conducto es *mail chute*. Muchos edificios de principios de siglo XX incluyeron este sistema, entre ellos, el Empire State Building.

con un desnivel de 75 cm, por lo que se recurrrió al empleo de 176 pilotes de control con los cuales se restauró la verticalidad del inmueble.

E. Proyecto/levantamiento estructural

Los planos se han dibujado con una retícula de ejes ortogonales sobre la que se distribuyen uniformemente las columnas. Los ejes en la dirección Norte-Sur son nombrados A, B, C, D, E, F, G y H, y están separados por 5.38m, 3.70m, 1.75m, 7.50m, 1.75m, 3,70m y 5.38m respectivamente; sumando el total de 29.15m en esa dirección. En dirección Este-Oeste los ejes son llamados 1, 2, 3, 4, 5 y 6, y están separados por 4.60m, 4.65m, 5.55m, 4.65m y 4.60m respectivamente sumando el total de 23.95m en esta dirección.

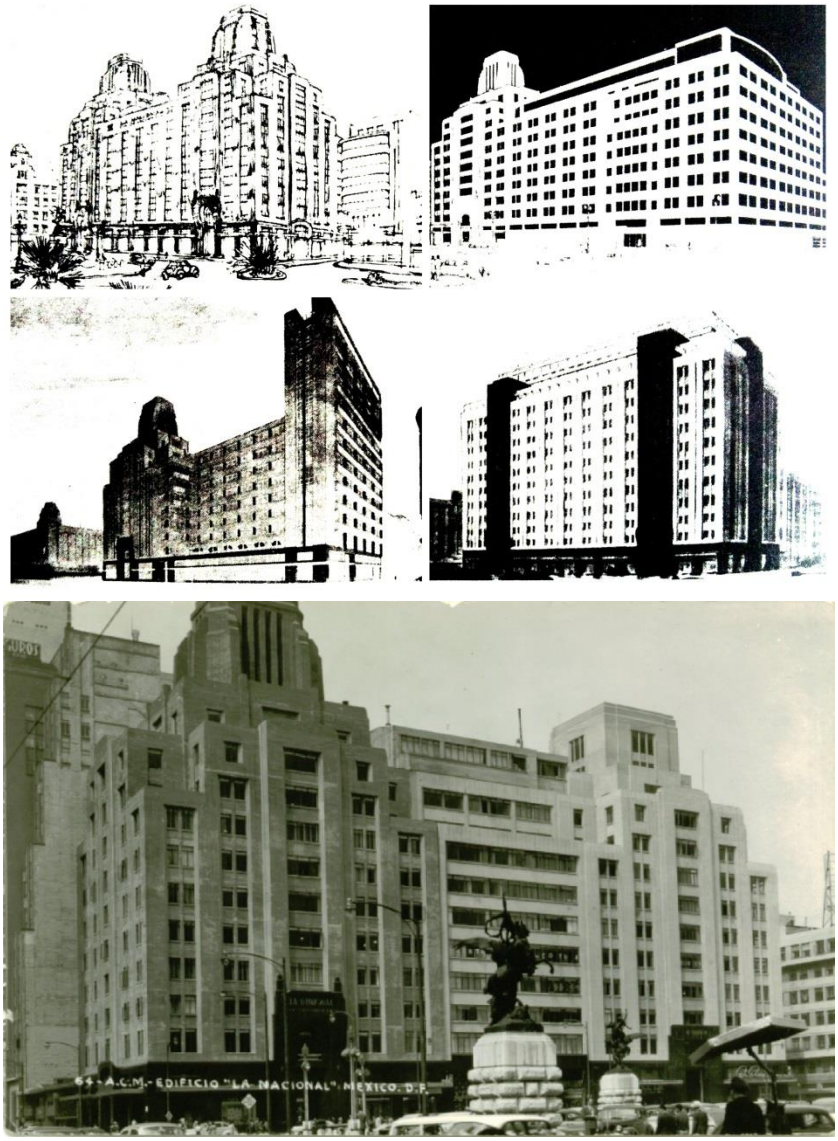
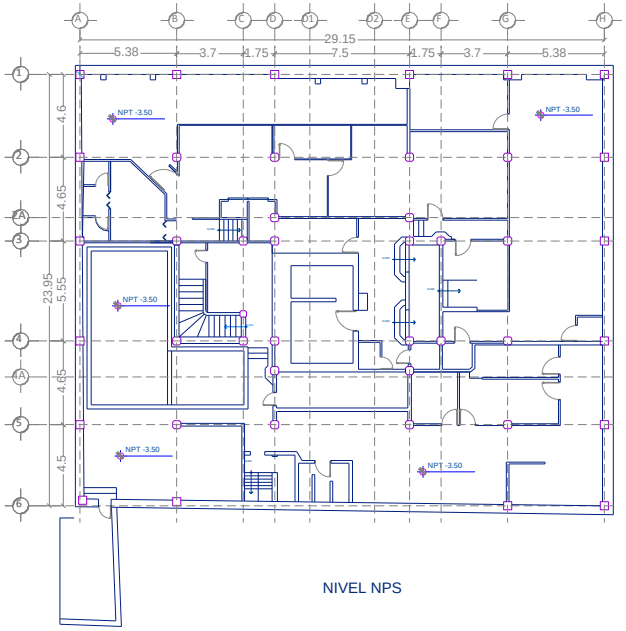


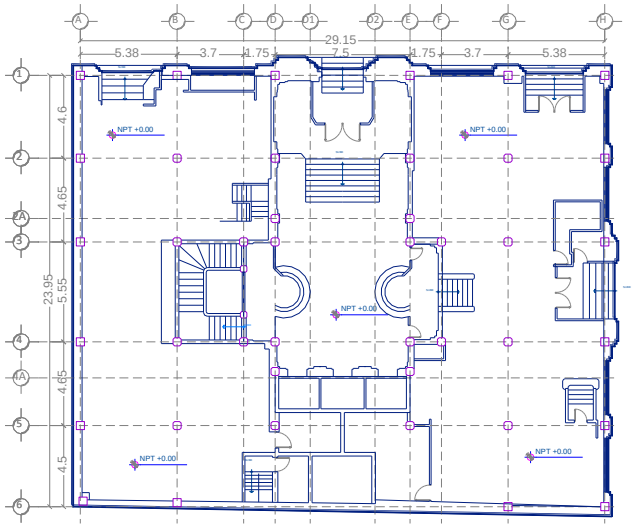
Figura II.16 Propuestas para el edificio La Nacional II. Arriba: Sup izq, Alonso Mariscal; sup der Enrique Yañez; inf. izq. Enrique de la mora; inf. der. Mario Pani. Abajo, ambos edificios construidos. Circa 1953.

Las vigas fueron identificadas con una clave compuesta: en primer lugar por el nivel de referencia, seguida por el eje sobre el que se encuentran y, finalmente, los ejes entre los que se ubica. Así, una viga en el nivel 4, en la dirección del eje 3 y entre los ejes D y E se nombró 43DE.

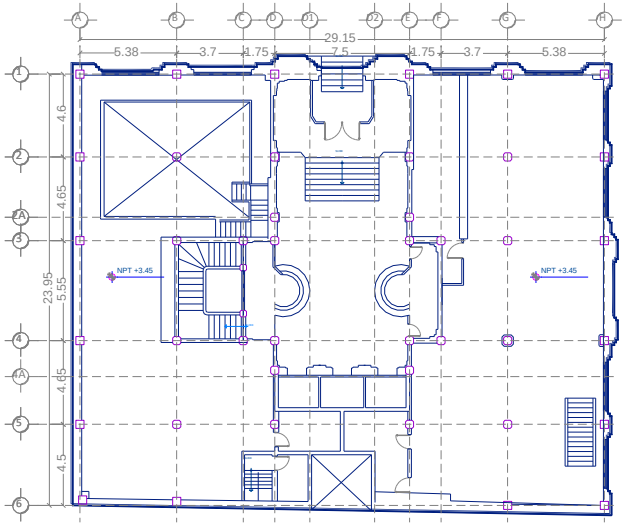
De forma similar, las columnas se nombraron en primer lugar por el piso en el que se desplantan, seguidas por la intersección de ejes en los que se encuentran comenzando por los ejes alfabéticos y finalmente por los numéricos.



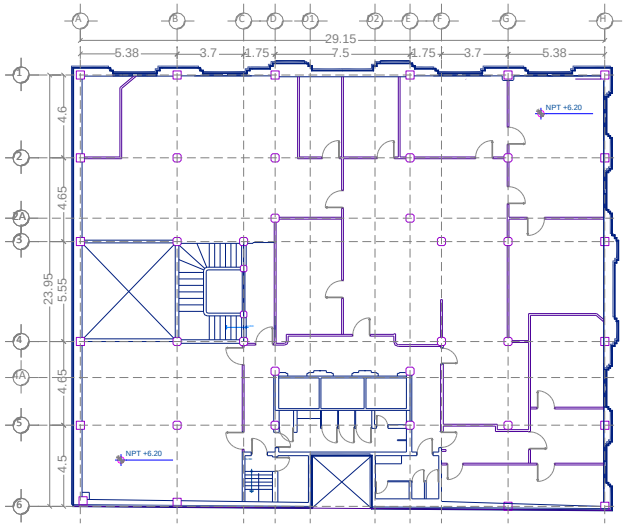
NIVEL NPS



NIVEL NPB

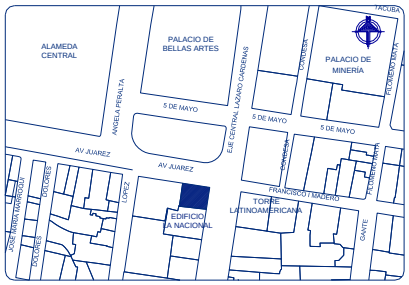


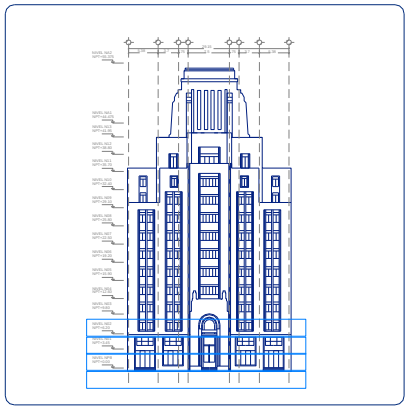
NIVEL N01



NIVEL N02

Fig. II.17 PLANTAS DE NIVELES NPS, NPB, N01 y N02 DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'





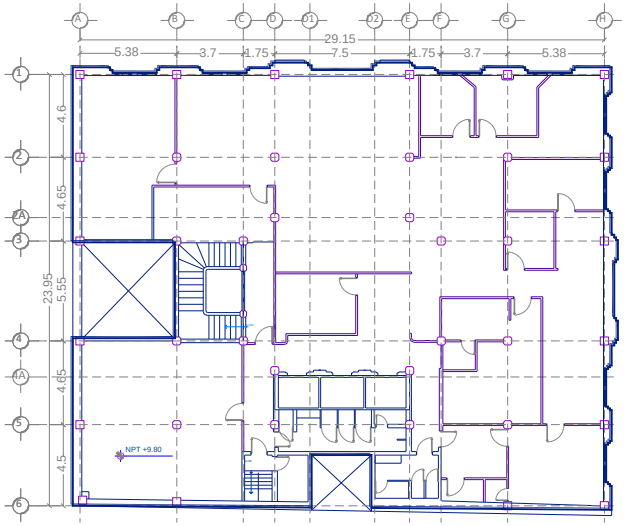
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

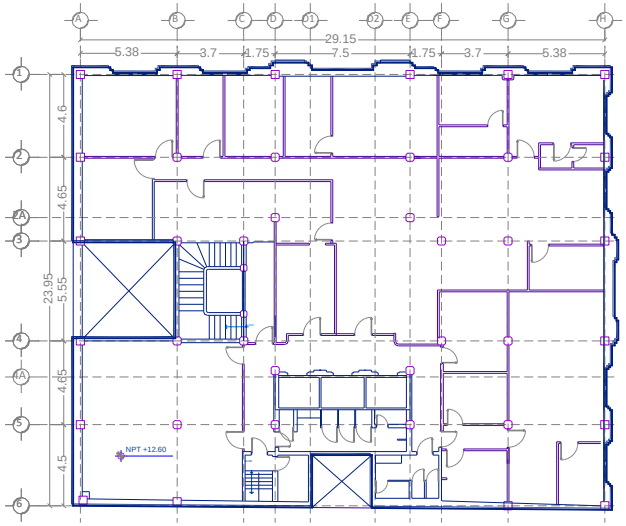
Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Concepto:	Revisó:	Archivo:	Escala:
DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	JLTS/OMG	LN_CII.17	SIN

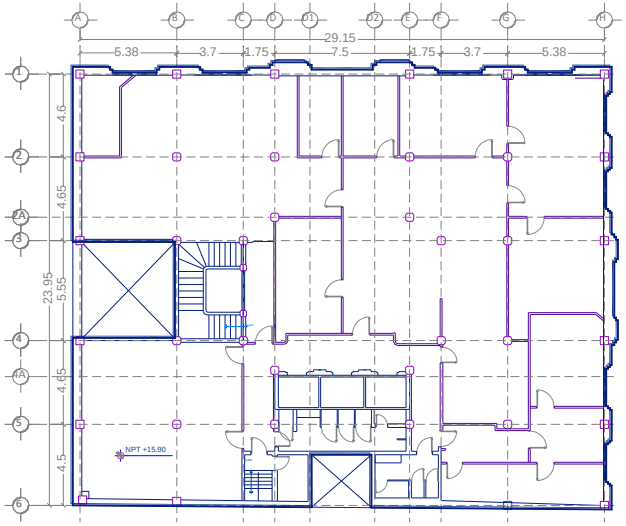
Título:	Fecha:	Figura:
PLANTAS NPS, NPB, N01 y N02	17/08/13	II.17



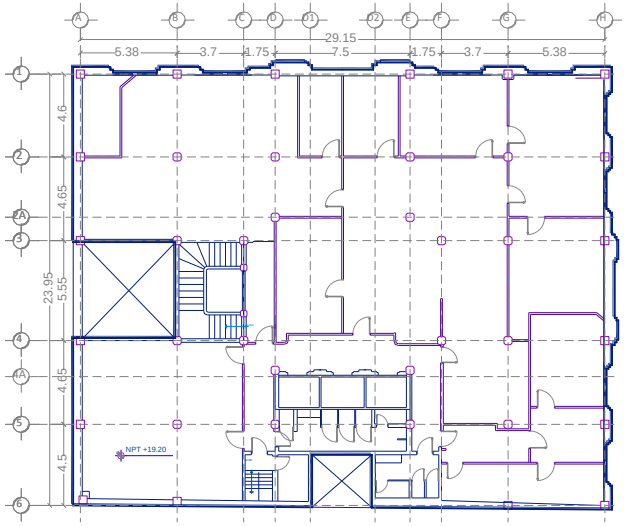
NIVEL N03



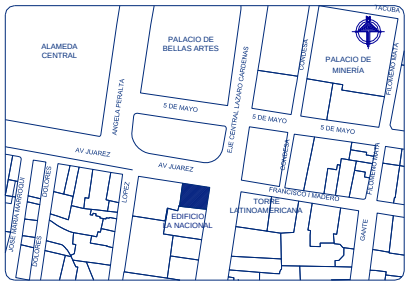
NIVEL N04

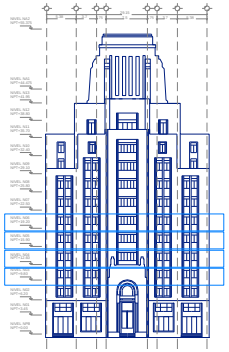


NIVEL N05



NIVEL N06



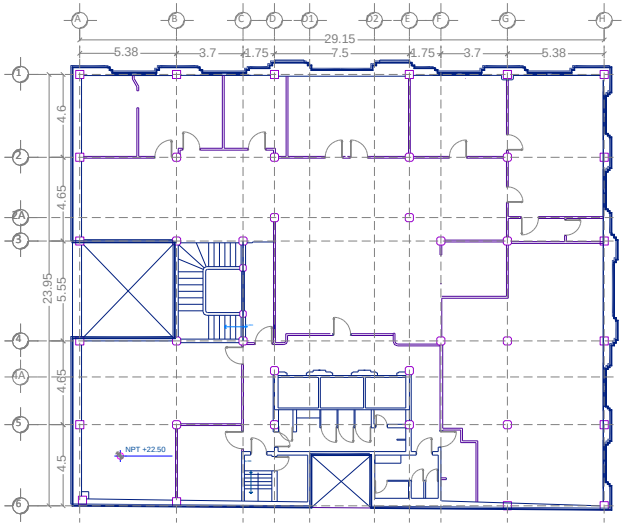


Tesis Profesional

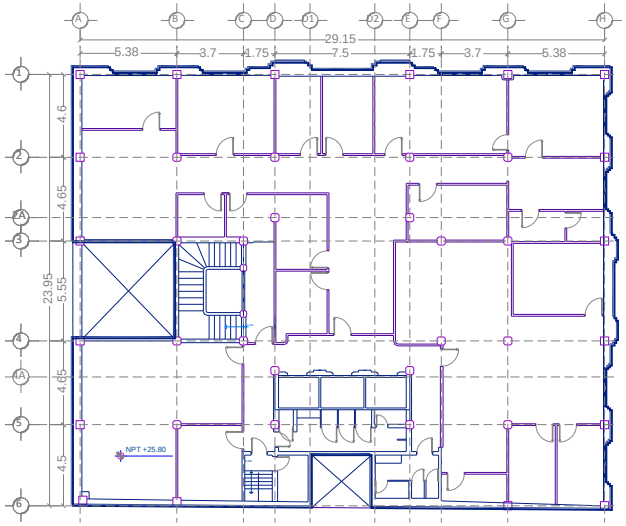
COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Revisó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CII.18	Escala: SIN	
Título: PLANTAS N03, N04, N05 y N06	Fecha: 17/08/13	Figura: II.18		

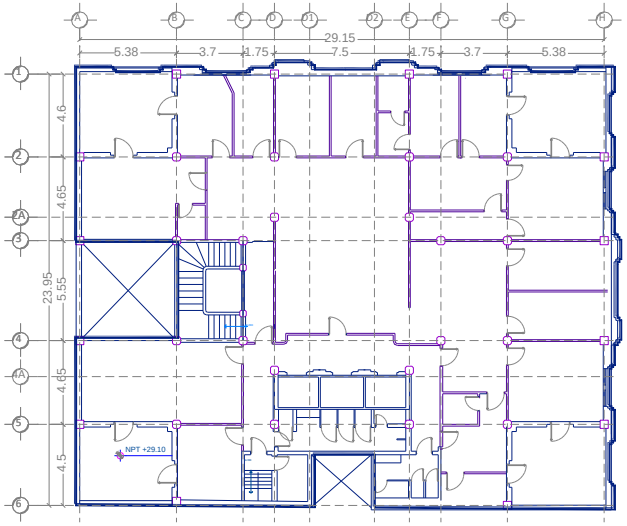
Fig. II.18 PLANTAS DE NIVELES N03, N04, N05 Y N06 DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'



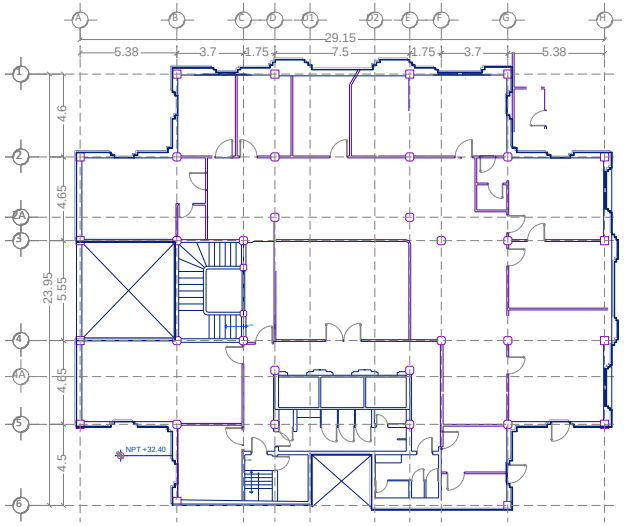
NIVEL N07



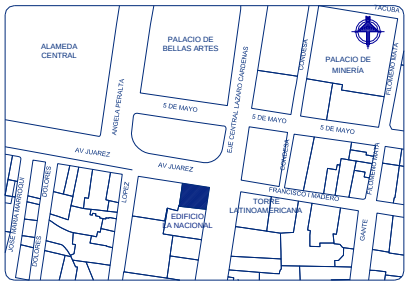
NIVEL N08

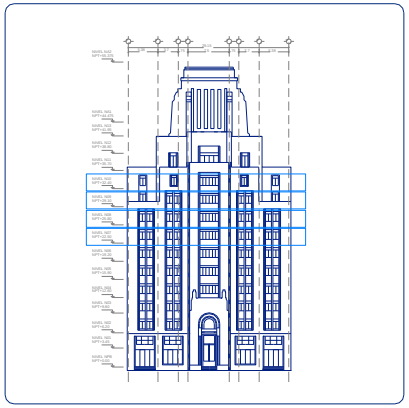


NIVEL N09



NIVEL N10



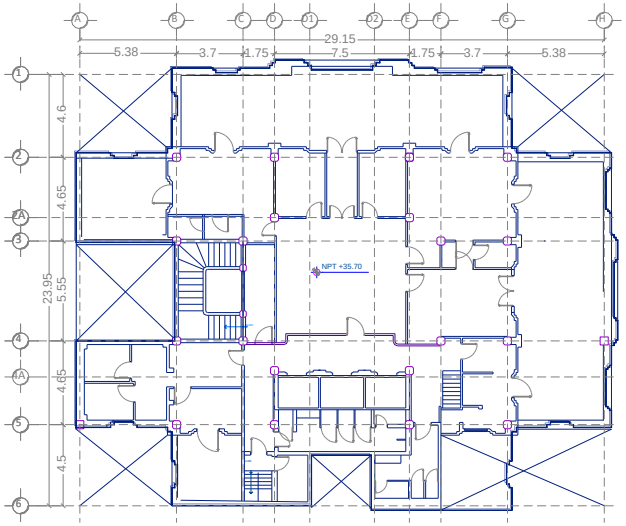


Tesis Profesional

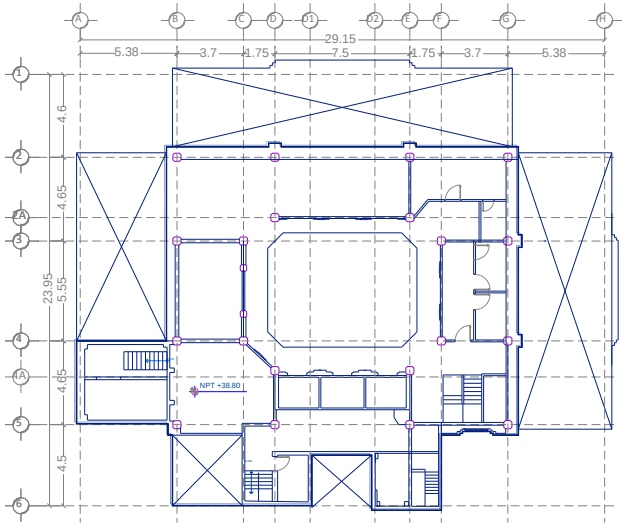
COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta: OSCAR MINOR GARCÍA				
Director de Tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ				
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Revisó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CII.19	Escala: SIN	
Título: PLANTAS N07, N08, N09 Y N10	Fecha: 17/08/13	Figura: II.19		

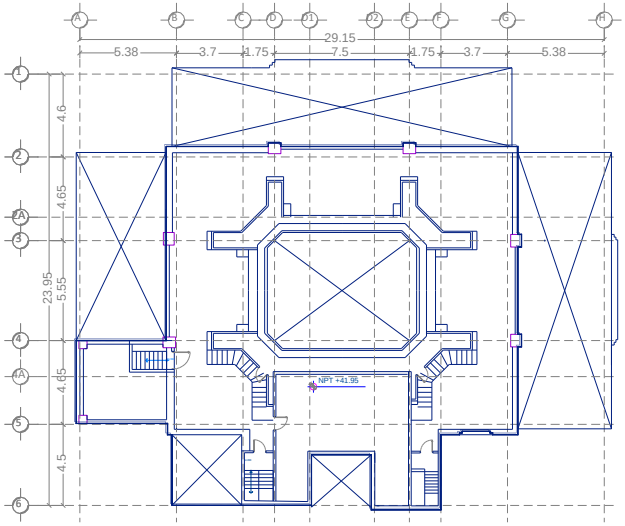
Fig. II.19 PLANTAS DE NIVELES N07, N08, N09 Y N10 DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'



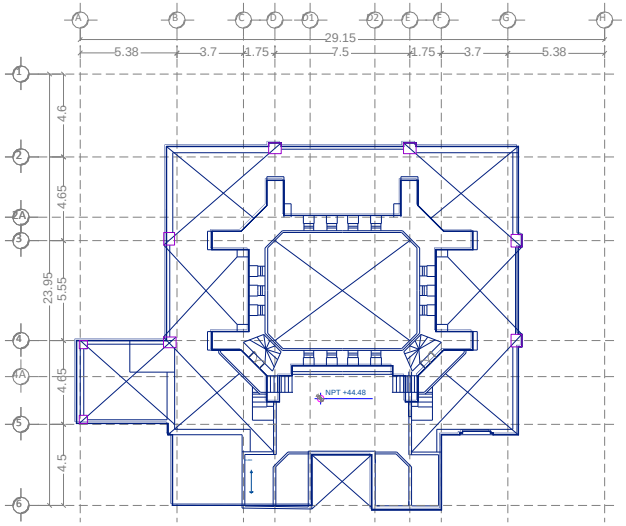
NIVEL N11



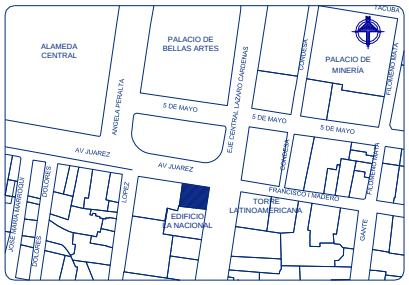
NIVEL N12

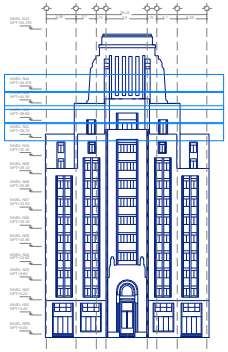


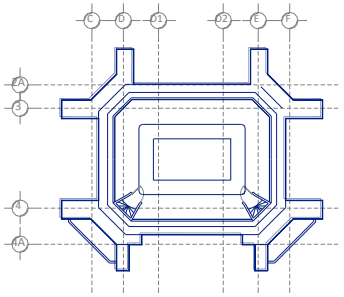
NIVEL N13



NIVEL NA1







NIVEL NA2

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presento:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CII.20	Escala: SIN	
Dibujo: PLANTAS N11, N12, N13 Y NA	Fecha: 17/08/13	Figura: II.20		

Fig. II.20 PLANTAS DE NIVELES N11, N12, N13 Y NA1 DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'

Capítulo III

III. ESTUDIOS ANALÍTICOS

En ingeniería la realidad es representada a través de modelos a los que se les atribuyen las características de lo que se quiere analizar, así como las leyes que rigen su comportamiento, buscando siempre un modelo que sea lo más sencillo posible pero que represente de manera muy aproximada el estado actual o futuro de la construcción que se trate. Las estructuras son, en este sentido, la realidad que se busca representar para analizar su comportamiento, tomando en cuenta tres aspectos fundamentales: materiales, geometrías y cargas, pero además, considerando las características del lugar en el que se encuentra y el uso para el que esté destinada la construcción, con el fin de garantizar que su comportamiento sea satisfactorio durante su vida útil.

Un aspecto importante dentro de la modelación es la validación del modelo mediante mediciones o cálculos alternos que ayuden a comprobar que el modelo funciona y está bien. Buscamos que el comportamiento del modelo sea aproximado al comportamiento de la estructura real, por lo que es importante realizar mediciones tomando ciertos parámetros que nos indiquen que así sucede.

Dadas tanto las características del suelo del Valle de México como las de actividad sísmica, principalmente en la costa del pacífico, las cuales han provocado un historial de eventos importantes en la Ciudad de México, dentro del análisis estructural es imprescindible el análisis de las fuerzas sísmicas a que pueden ser sometidas las construcciones, pues son estas, las fuerzas sísmicas y no las cargas verticales, las que rigen usualmente el diseño de una estructura en la zona lacustre del Distrito Federal. Dentro de este análisis se deben considerar la interacción de elementos estructurales con los no estructurales, la relación entre las resistencias, rigideces y ductilidades de todos los miembros estructurales y el comportamiento integral del suelo, la cimentación y la superestructura.

Del análisis se obtienen los elementos mecánicos: momentos flexionantes, fuerzas axiales y cortantes, y momentos torsionantes que se presentarán en la estructura y que deben ser resistidos por cada uno de los miembros que la componen así como en su conjunto. La revisión de los elementos consiste en verificar que las características de estos miembros, geometría y materiales, tengan la resistencia adecuada que permitan tener un comportamiento satisfactorio tanto para condiciones de falla como para las condiciones de servicio que establecen los reglamentos. En caso de que alguno de estos objetivos no se alcance, se debe determinar la magnitud de la situación, y establecer las consecuencias que pueden ocurrir y, si es necesario, realizar un proyecto de reestructuración, rigidización y/o refuerzo.

Figura III.1 Modelo tridimensional en el Software Revit Structure

A. Modelación analítica

Para el análisis se consideró una hipótesis de comportamiento elástico-lineal de la estructura. Los efectos ante fuerzas sísmicas se analizaron mediante un análisis dinámico modal espectral, verificando que el cortante en la base no sea menor al 80% del cortante obtenido mediante un análisis estático, como se menciona en las NTC-Sismo en su sección 9.3.

Se comenzó con un modelo tridimensional en el software de Autodesk Revit Structure. A partir de los planos arquitectónicos de cada nivel se trazaron los ejes y se levantaron las columnas y los muros, se colocó el sistema de vigas y el sistema de piso. Tanto para las columnas como para las vigas se usaron elementos de acero de sección indistinta, pues a partir del análisis de la cantidad longitudinal de acero se puede estimar el peso de la misma. El modelo tridimensional proporciona la cuantificación de muros, pisos, techos, columnas y vigas por lo que se usó esta información para cuantificar el peso de cada nivel y el que debe soportar cada elemento estructural y realizar el pre dimensionamiento de los elementos.

1. Pre dimensionamiento de elementos estructurales

Con la información del primer modelo tridimensional se obtuvo una cuantificación longitudinal en el caso de vigas y columnas, y de área para el caso de pisos y techos, con el propósito de obtener el peso de cada elemento por nivel. Para esto se supuso un concreto de 2.4 tonf/m3, carga viva de 250 kgf/m². Las secciones que se usaron fueron las del Manual Monterrey, que se especifican en la sección C de este capítulo.

a) Losas

En 1930 el uso de concreto como sistema de piso ya era bien conocido en México. El método de cálculo que se utilizó para la Lotería Nacional y que por extensión podemos suponer que era usado en el momento del proyecto de La Nacional, es el que desarrolló el Dr. Henri Marcus en Alemania en una serie

de trabajos sobre el concreto reforzado publicados en 1919, 1924 y 1925[83]. Además de ese método, Manuel González Flores utiliza el método de Cross para obtener la distribución de momentos. Hardy Cross publicó en mayo de 1930 un artículo de 10 páginas en *Proceedings of the American Society of Civil Engineers,* explicando un método iterativo para calcular sistemas estáticamente indeterminados que posteriormente adquirió su nombre y en 1932 publicó *Continuos Frames of Reinforced Concrete*, por lo que estrictamente es poco probable que haya sido utilizado en el diseño original de La Nacional en 1930, sin embargo, en este trabajo se recurre a él para disminuir el valor de los momentos en el diseño de las losas e ilustrar de forma general la metodología posiblemente empleada en aquellos años.

El cálculo específico de las losas se analiza detalladamente en el anexo B. De ese análisis se obtuvo un espesor de losa de 20 cm para el claro mayor. Este espesor se extendió para todas las losas en todos los pisos.

La figura III-4 muestra el armado típico para una losa tipo, resultado del análisis con las consideraciones mencionadas.

b) Vigas

El área de cada nivel se subdividió en rectángulos delimitados por los ejes de cada piso, y a su vez, estos rectángulos se dividieron en dos triángulos isósceles en sus lados cortos, y dos trapecios en sus lados largos, con el fin de obtener áreas tributarias para cada viga como se muestra en la figura III.2. Esa área de multiplicó por el espesor de la losa de 0.20 m y el peso volumétrico del concreto de 2.4 tonf/m². Además se le asignó una sobrecarga de 250 kgf/m² que corresponde a niveles destinados a oficinas. El peso propio de la viga se consideró como si fuera la más grande que fabricaba la Compañía, de *15 pulgadas pesada* (con peso unitario de 89.28 kgf/m).

Figura III.2 Detalle de la construcción de la estructura de La Nacional en el que se puede apreciar las tornapuntas usadas en algunas vigas.

En fotografías de la construcción de la estructura de acero del edificio, como la mostrada en la figura III.2, se aprecia que se utilizaron tornapuntas en algunas vigas con el propósito de reducir su longitud y tener elementos más pequeños. En el análisis hecho en este trabajo se despreciaron debido al desconocimiento de las consideraciones hechas al respecto, por lo cual se utilizaron las longitudes de vigas totales medidas entre ejes.

Para el dimensionamiento, una vez teniendo el peso que debe cargar cada viga (El peso de la losa, la sobrecarga, y el peso propio), se utilizó la tabla de las páginas 142 y 143 del Manual de la Cía. Fundidora de Monterrey en el que se muestran las cargas uniformemente repartidas que son capaces de soportar las vigas libremente apoyadas para un esfuerzo de trabajo de 1265 kgf/cm². Los pesos se multiplicaron

[83] KURRER, Karl-Eugen. (2012).*The History of the Theory of Structures*. John Wiley & Sons. p. 542

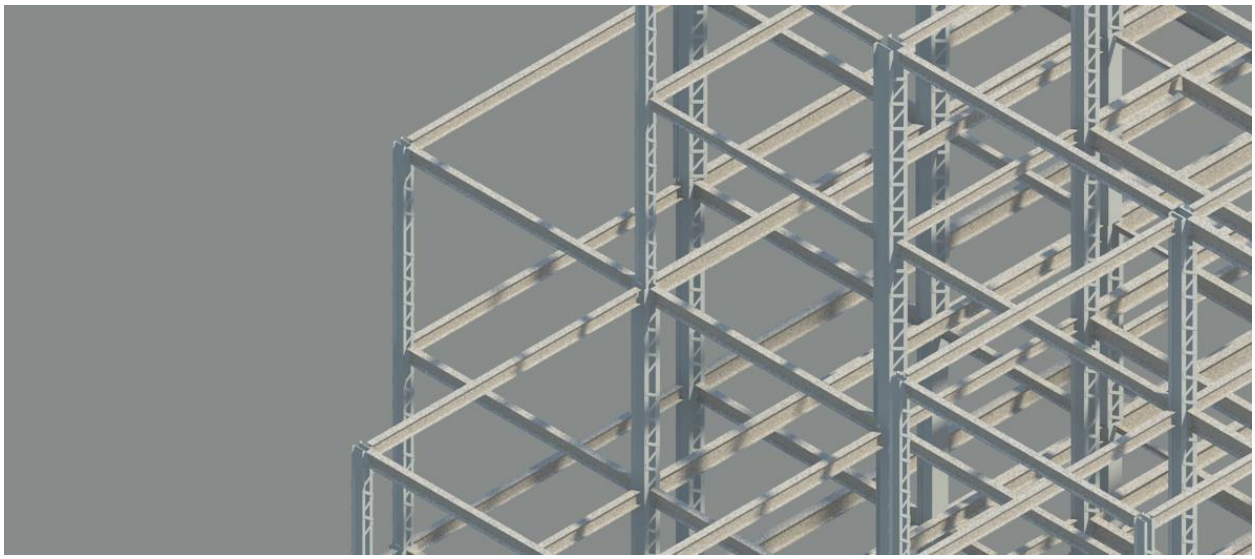


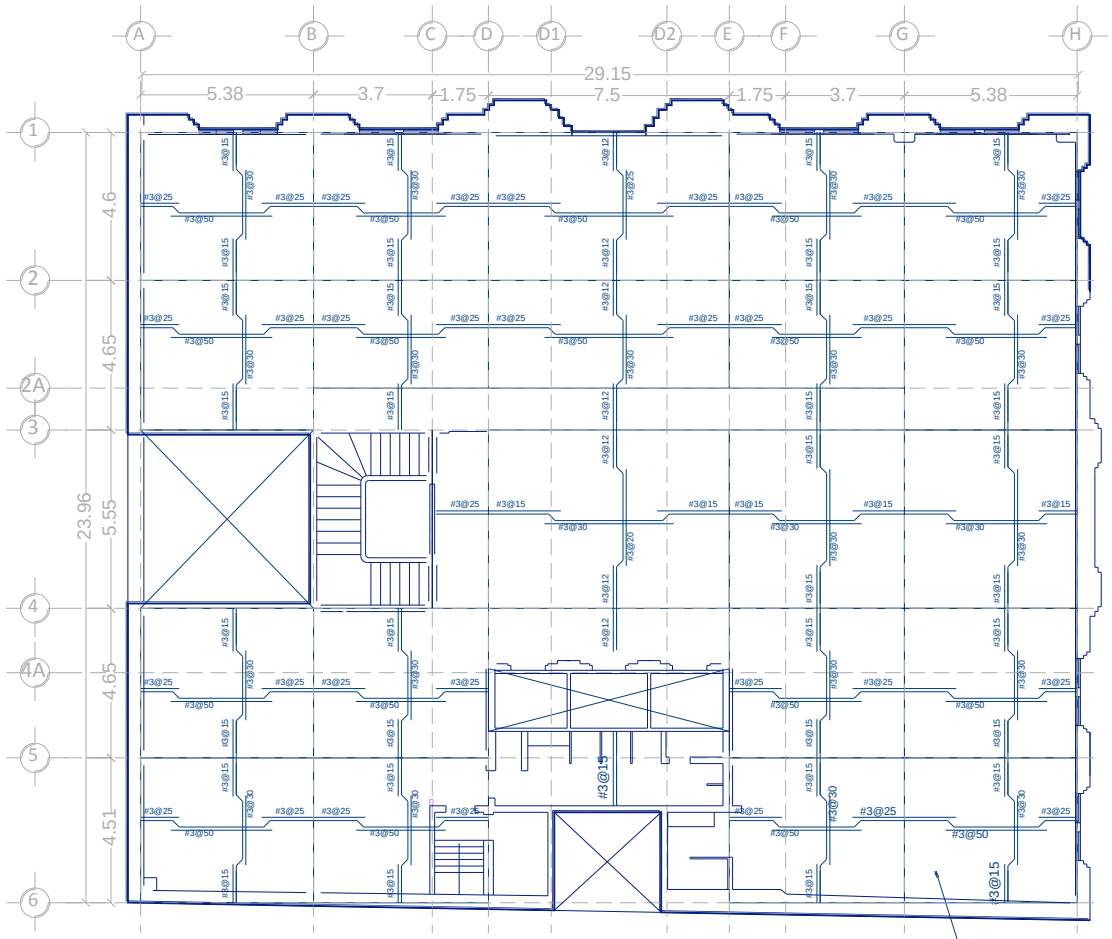
Figura III.3 Detalle que muestra los marcos de acero formados por columnas con celosía y vigas de perfiles I

por un factor de 8/6 dado que la tabla es para carga uniformemente repartida y las cargas actuantes serán trapeciales, tal y como se señala en la tesis de González Flores.

Siguiendo la metodología y a modo de ejemplo, para la viga 11-1DE que debe soportar una carga de 12.9 tonf, y que tiene una longitud total de 7.5 m, en la pág. 143 del Manual de la Cía. Fundidora de Monterrey se busca el claro de 7.5 m, y se observa que la sección que soporta esa carga es la de *15 pulgadas liviana*, que se designa con el número 15 y que tiene una resistencia de 13.02 tonf, que es mayor que la carga de servicio.

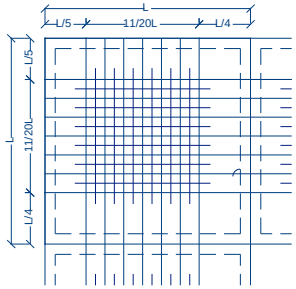
c) Columnas

De forma similar a lo que se hizo con vigas, para las columnas se tomó el área tributaria de cada elemento dividiendo ahora no en triángulos y trapecios, sino en rectángulos cuyo centro es donde se localiza la columna. La suma de los pesos de los pisos superiores se dividió entre el área de cada piso a fin de obtener una carga repartida por piso, que se multiplicó por el área tributaria de cada columna para obtener así la carga que debe soportar cada elemento. Se separaron los pesos debidos a carga muerta y a carga viva, éstos últimos fueron multiplicados por un factor que depende del número de pisos que soporta cada elemento, de acuerdo a como lo establece la tesis de la Lotería Nacional en la tabla III-2. De igual forma se recurrió a las tablas de diseño del Manual de la Cía. Fundidora de Monterrey para elegir las secciones. Teniendo la carga que debe soportar en toneladas y teniendo la altura en metros, se puede escoger una sección que sea capaz de resistir dicha carga. En todos los casos se usaron los valores para una altura de 3.5 m, ya que todas las alturas de entrepiso son menores, con excepción del piso 3 donde es de 3.6 m.



LOSA MACIZA DE CONCRETO CON f'c=210kg/cm², h=20cm. LAS SEPARACIONES INDICADAS SON EN CENTÍMETROS PARA VARILLAS #3

DISPOSICIÓN TÍPICA DEL ARMADO EN CAPAS DE COMPRESIÓN PARA CAPAS DE MOMENTO POSITIVO (LECHO INFERIOR)



ARMADO PARA LA ABSORCIÓN DEL MOMENTO NEGATIVO (LECHO SUPERIOR)

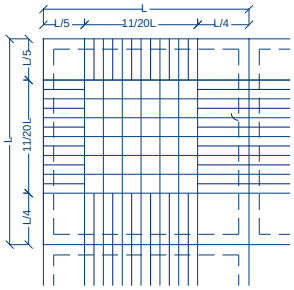


Fig. III.4 ARMADO EN LOSA TIPO PARA EL EDIFICIO 'LA NACIONAL'

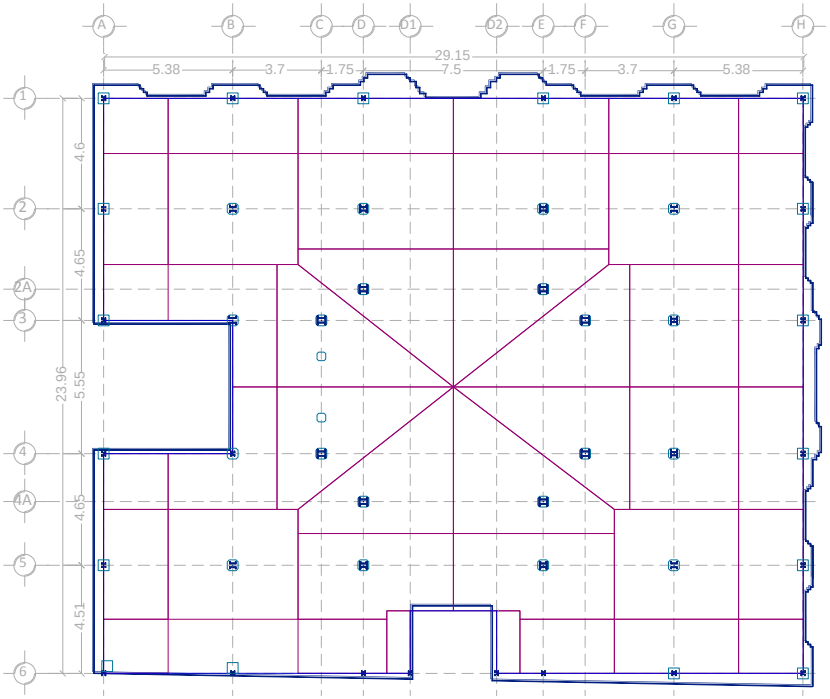
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

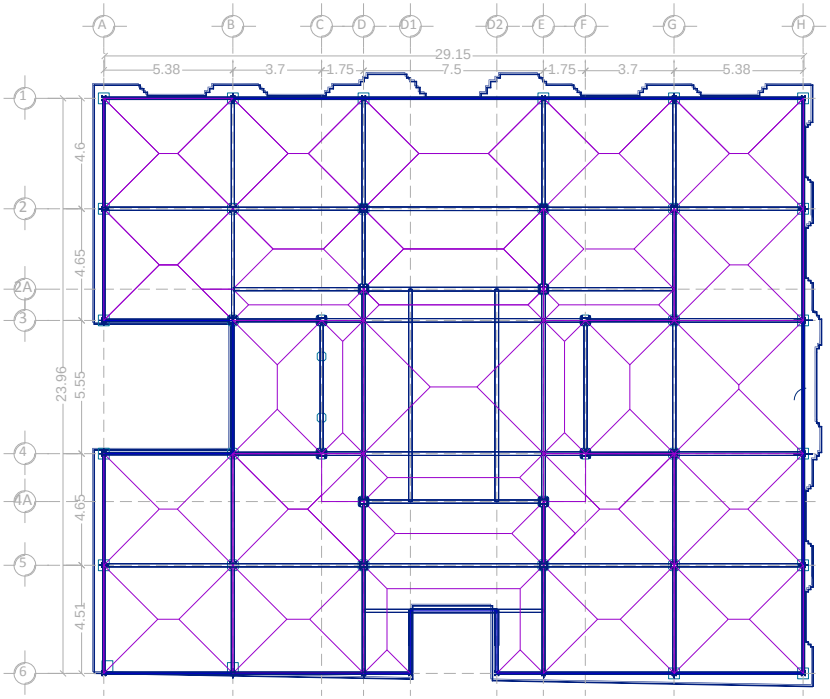
Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Concepto:	Revisó:	Archivo:	Escala:
DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	JLTS/OMG	LN_CIII.4	SIN

Dibujo:	Fecha:	Figura:
ARMADO EN LOSA	17/08/13	III.4



ÁREAS TRIBUTARIAS PARA COLUMNAS



ÁREAS TRIBUTARIAS PARA VIGAS

Fig. III.5 DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS TRIBUTARIAS PARA EL CÁLCULO DE LOS PERFILES DE ACERO.

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÈXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG · Archivo: LN_CIII.5 · Escala: SIN
Dibujo: ÁREAS TRIBUTARIAS	Fecha: 17/08/13 · Hoja: III.5

Tabla III-1 Cargas y secciones de vigas

Viga	Nivel 1-10		Nivel 11-12		13-14	
	Carga Tonf	Sección	Carga Tonf	Sección	Carga Tonf	Sección
1AB	7.4	10				
1BD	7.5	12	8.7	12		
1DE	12.3	15	14.1	15P		
1EG	7.5	12	8.7	12		
1GH	7.4	10				
2AB	14.3	15	8.5	12		
2ABD	9.7	12	11.1	12P	11.1	12P
2ADE	14.5	15P	16.7	15P	16.7	15P
2AEG	9.7	12	11.1	12P	11.1	12P
2BD	13.7	15	15.8	15	7.6	12
2DE	21.8	-	25.1	-	11.7	15
2EG	13.7	15	15.8	15	7.6	12
2GH	14.3	15	8.5	12		
3AB	7.4	10	8.5	12		
3BC	5.7	10	6.6	10	6.6	10
3CD	1.9	10	2.1	10	2.1	10
3DE	11.8	15	13.5	15P	13.5	15P
3EF	1.9	10	2.1	10	2.1	10
3FG	5.7	10	6.6	10	6.6	10
3GH	14.4	15	16.6	15		
4AB	7.4	10	8.5	12	8.5	12
4ADE	15.0	15P	17.2	15P	17.2	15P
4BC	8.5	10	9.7	10	9.7	10
4CD	3.2	10	3.6	10	3.6	10
4DE	13.7	15P	15.8	15P	15.8	15P
4EF	3.2	10	3.6	10	3.6	10
4FG	8.5	10	9.7	10	9.7	10
4GH	14.4	15	16.6	15		
5AB	14.3	15	8.5	12	8.5	12
5ADE	7.6	12	8.7	12P	8.7	12P
5BD	14.6	15	16.8	15	8.7	12
5DE	13.7	15P	15.8	15P	15.8	15P
5EG	14.6	15	16.8	15	8.7	12
5GH	14.3	15	8.5	12		
6AB	7.3	10				
6BD	7.5	12	8.6	12		
6D2E	1.1	10	1.2	10	1.2	10
6DD1	1.1	10	1.2	10	1.2	10
6EG	7.5	12	8.6	12		
6GH	7.3	10				

Viga	Nivel 1-10		Nivel 11-12		13-14	
	Carga Tonf	Sección	Carga Tonf	Sección	Carga Tonf	Sección
A12	5.6	10				
A23	5.7	10	6.5	10		
A45	5.7	10	6.5	10	6.5	10
A56	5.3	10				
B12	10.7	12	6.4	10		
B23	8.8	12	10.2	12	4.1	10
B34	7.2	10	8.2	12	8.2	12
B45	10.9	12	12.6	12	12.6	12
B56	10.3	12	6.1	10		
C34	11.2	12P	12.8	12P	12.8	12P
D2A4A	9.0	15	10.3	15	10.3	15
D4A5	5.0	10	5.7	10	5.7	10
D12	10.7	12	12.4	12P		
D15A6	2.1	10	2.4	10	2.4	10
D22A	5.8	10	6.6	10	6.6	10
D25A6	2.1	10	2.4	10	2.4	10
D56	7.8	10	9.0	10	3.2	10
E2A4A	9.0	15	10.3	15	10.3	15
E4A5	5.0	10	5.7	10	5.7	10
E12	10.7	12	12.4	12P		
E22A	5.8	10	6.6	10	6.6	10
E56	7.8	10	9.0	12	3.3	10
F34	11.2	12P	12.8	12P	12.8	12P
G12	10.7	12	6.4	10		
G23	8.8	12	10.2	12	4.1	10
G34	14.7	15	16.9	15	8.2	12
G45	10.9	12	12.6	12	6.5	10
G56	10.3	12	6.1	10		
H12	5.6	10				
H23	5.7	10	6.5	10		
H34	8.0	12	9.2	12		
H45	5.7	10	6.5	10		
H56	5.3	10				
Z1	14.2	15P	16.3	15P	16.3	15P
Z2	14.2	15P	16.3	15P	16.3	15P

Aquí es importante mencionar que la tabla del manual monterrey de 1930 fue calculada para un esfuerzo permisible igual a

$$1125 - 5 \times \frac{l}{r}$$

Cuyo valor máximo es de 984 kgf/cm². Esta fórmula, como se explica en la versión de 1937 del manual, corresponde a *la American Railway Engieneering* así como a la Ley sobre Construcciones de la ciudad de Chicago. En la misma versión del manual se presenta una comparación entre esfuerzos permisibles utilizando diferentes fórmulas, incluyendo la anterior y algunas otras, aunque la que es utilizada en esa versión fue la establecida por el AISC y que es:

$$\frac{1265}{1 + \frac{l^2}{18000 \times r^2}}$$

Para un concreto de resistencia f'c de 18,000 psi, equivalente a 1265 kgf/cm².

Siguiendo la metodología descrita, por ejemplo para la columna 3A6, que debe soportar una carga de 82.4 Ton, buscando en la tabla de columnas de canales con celosía o placas interrumpidas (pág. 153 del Manual de la Cía. Fundidora de Monterrey) se observa que la columna C12 sólo soporta 75.86 Ton, la C8P soporta 70.56, y la C10P soporta 122.16, por lo que se elige ésta, tal como se muestra en la tabla III-3. Cabe recordar que se despreció la participación del concreto en la capacidad de carga de las columnas.

Tabla III-2 Reducción de carga viva

Número de pisos que soportan las columnas	Porcentaje de la Carga Viva
1	95
2	90
3	85
4	80
5	75
6	70
7	65
8	60
9	55
10 o más	50

Tabla III-3 Cargas y secciones de columnas.

	NIVEL																											
	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13	
Col	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC	C. Tonf	SEC
A1	232	10PP22	220	10PP22	196	10PP10	184	10PP10	167	10PP10	153	10PP10	137	C12P	121	C10P	104	C10P	88	C10P								
A2	270	10PP22	264	10PP22	230	10PP22	216	10PP22	196	10PP10	180	10PP10	160	10PP10	141	C12P	121	C10P	101	C10P	69	C10P	54	C10				
A3	298	12PP19	291	12PP19	200	10PP10	188	10PP10	171	10PP10	156	10PP10	140	C12P	123	C12P	106	C10P	89	C10P	75	C10P	58	C10P				
A4	298	12PP19	291	12PP19	200	10PP10	188	10PP10	171	10PP10	156	10PP10	140	C12P	123	C12P	106	C10P	89	C10P	75	C10P	58	C10P	47	C10	33	C10
A5	268	10PP22	262	10PP22	227	10PP22	214	10PP22	195	10PP10	178	10PP10	159	10PP10	140	C12P	120	C10P	100	C10P	69	C10P	53	C10	43	C10	30	C10
A6	229	10PP22	217	10PP22	194	10PP10	182	10PP10	165	10PP10	152	10PP10	135	C12P	119	C10P	103	C10P	87	C10P								
B1	299	12PP19	290	12PP19	254	10PP22	239	10PP22	217	10PP22	199	10PP10	177	10PP10	156	10PP10	134	C12P	112	C10P	78	C10P	61	C10P				
B2	206	10PP22	225	10PP22	178	10PP10	168	10PP10	154	10PP10	140	C12P	125	C12P	109	C10P	92	C10P	75	C10P	51	C10	37	C10	13	C6	8	C6
B3	191	10PP10	208	10PP22	111	C10P	105	C10P	97	C10P	88	C10P	78	C10P	68	C10P	58	C10P	47	C10	42	C10	31	C10	20	C6	12	C6
B4	191	10PP10	208	10PP22	111	C10P	105	C10P	97	C10P	88	C10P	78	C10P	68	C10P	58	C10P	47	C10	42	C10	31	C10	33	C10	21	C6
B5	204	10PP22	223	10PP22	176	10PP10	167	10PP10	153	10PP10	138	C12P	123	C12P	108	C10P	91	C10P	74	C10P	50	C10	37	C10	26	C10	17	C6
B6	297	12PP19	288	12PP19	252	10PP22	237	10PP22	216	10PP22	197	10PP10	176	10PP10	155	10PP10	133	C12P	112	C10P	78	C10P	61	C10P				
C3	173	10PP10	189	10PP10	149	10PP10	141	C12P	129	C12P	117	C10P	104	C10P	91	C10P	77	C10P	63	C10P	56	C10P	41	C10	44	C10	28	C10
C4	168	10PP10	183	10PP10	145	C12P	137	C12P	126	C12P	114	C10P	101	C10P	88	C10P	75	C10P	61	C10P	55	C10P	40	C10	43	C10	27	C10
D1	358	0.0	269	10PP22	304	12PP22	285	12PP19	259	10PP22	237	10PP22	212	10PP22	187	10PP10	161	10PP10	134	C12P	114	C10P	87	C10P				
D2	212	10PP22	97	C10P	183	10PP10	173	10PP10	159	10PP10	144	C12P	128	C12P	112	C10P	95	C10P	77	C10P	69	C10P	50	C10	23	C6	14	C6
D2A	171	10PP10	0	C6	147	10PP10	139	C12P	128	C12P	116	C10P	103	C10P	90	C10P	76	C10P	62	C10P	56	C10P	41	C10	43	C10	27	C10
D4A	196	10PP10	214	10PP22	169	10PP10	160	10PP10	147	10PP10	133	C12P	118	C10P	103	C10P	88	C10P	71	C10P	64	C10P	47	C10	50	C10	31	C10
D5	186	10PP10	203	10PP22	160	10PP10	152	10PP10	139	C12P	126	C12P	112	C10P	98	C10P	83	C10P	68	C10P	61	C10P	44	C10	34	C10	22	C6
D6	306	12PP22	291	12PP19	260	10PP22	244	10PP22	221	10PP22	203	10PP22	181	10PP10	160	10PP10	138	C12P	116	C10P	97	C10P	75	C10P	48	C10	34	C10
D16	60	C10P	23	C6	18	C6	17	C6	16	C6	14	C6	13	C6	11	C6	9	C6	8	C6	7	C6	5	C6	15	C6	10	C6
D26	60	C10P	23	C6	18	C6	17	C6	16	C6	14	C6	13	C6	11	C6	9	C6	8	C6	7	C6	5	C6	15	C6	10	C6
E1	358	0.0	269	10PP22	304	12PP22	285	12PP19	259	10PP22	237	10PP22	212	10PP22	187	10PP10	161	10PP10	134	C12P	114	C10P	87	C10P				
E2	212	10PP22	97	C10P	183	10PP10	173	10PP10	159	10PP10	144	C12P	128	C12P	112	C10P	95	C10P	77	C10P	69	C10P	50	C10	23	C6	14	C6
E2A	171	10PP10	0	C6	147	10PP10	139	C12P	128	C12P	116	C10P	103	C10P	90	C10P	76	C10P	62	C10P	56	C10P	41	C10	43	C10	27	C10
E4A	196	10PP10	214	10PP22	169	10PP10	160	10PP10	147	10PP10	133	C12P	118	C10P	103	C10P	88	C10P	71	C10P	64	C10P	47	C10	50	C10	31	C10
E5	186	10PP10	203	10PP22	160	10PP10	152	10PP10	139	C12P	126	C12P	112	C10P	98	C10P	83	C10P	68	C10P	61	C10P	44	C10	34	C10	22	C6
E6	306	12PP22	291	12PP19	260	10PP22	244	10PP22	221	10PP22	203	10PP22	181	10PP10	160	10PP10	138	C12P	116	C10P	97	C10P	75	C10P	48	C10	34	C10
F3	173	10PP10	189	10PP10	149	10PP10	141	C12P	129	C12P	117	C10P	104	C10P	91	C10P	77	C10P	63	C10P	56	C10P	41	C10	44	C10	28	C10
F4	168	10PP10	183	10PP10	145	C12P	137	C12P	126	C12P	114	C10P	101	C10P	88	C10P	75	C10P	61	C10P	55	C10P	40	C10	43	C10	27	C10
G1	299	12PP19	290	12PP19	254	10PP22	239	10PP22	217	10PP22	199	10PP10	177	10PP10	156	10PP10	134	C12P	112	C10P	78	C10P	61	C10P				
G2	206	10PP22	225	10PP22	178	10PP10	168	10PP10	154	10PP10	140	C12P	125	C12P	109	C10P	92	C10P	75	C10P	51	C10	37	C10	13	C6	8	C6
G3	191	10PP10	208	10PP22	164	10PP10	156	10PP10	143	C12P	129	C12P	115	C10P	101	C10P	85	C10P	69	C10P	62	C10P	45	C10	20	C6	12	C6
G4	191	10PP10	208	10PP22	164	10PP10	156	10PP10	143	C12P	129	C12P	115	C10P	101	C10P	85	C10P	69	C10P	62	C10P	45	C10	20	C6	12	C6
G5	204	10PP22	223	10PP22	176	10PP10	167	10PP10	153	10PP10	138	C12P	123	C12P	108	C10P	91	C10P	74	C10P	50	C10	37	C10	13	C6	8	C6
G6	297	12PP19	288	12PP19	252	10PP22	237	10PP22	216	10PP22	197	10PP10	176	10PP10	155	10PP10	133	C12P	112	C10P	78	C10P	61	C10P	35	C10	26	C10
H1	232	10PP22	220	10PP22	196	10PP10	184	10PP10	167	10PP10	153	10PP10	137	C12P	121	C10P	104	C10P	88	C10P								
H2	270	10PP22	264	10PP22	230	10PP22	216	10PP22	196	10PP10	180	10PP10	160	10PP10	141	C12P	121	C10P	101	C10P	69	C10P	54	C10				
H3	298	12PP19	291	12PP19	253	10PP22	238	10PP22	217	10PP22	198	10PP10	177	10PP10	156	10PP10	134	C12P	112	C10P	95	C10P	73	C10P				
H4	298	12PP19	291	12PP19	253	10PP22	238	10PP22	217	10PP22	198	10PP10	177	10PP10	156	10PP10	134	C12P	112	C10P	95	C10P	73	C10P				
H5	268	10PP22	262	10PP22	227	10PP22	214	10PP22	195	10PP10	178	10PP10	159	10PP10	140	C12P	120	C10P	100	C10P	69	C10P	53	C10				
H6	229	10PP22	217	10PP22	194	10PP10	182	10PP10	165	10PP10	152	10PP10	135	C12P	119	C10P	103	C10P	87	C10P								

B. Modelación de la estructura

Con el diseño obtenido de acuerdo a lo indicado en la parta A de este capítulo, se realizó el modelo en el software de análisis ETABS en su versión 9.7.3, con el objeto de obtener los elementos mecánicos necesarios para realizar la revisión de la estructura.

Consideraciones relativas al modelo de la solución estructural de 1930

Para el diseño de 1930, los elementos viga y columna de la estructura se modelaron como elementos barra, con las propiedades geométricas que se indican para los perfiles en el Manual Monterrey teniendo especial cuidado en obtener área, momento de inercia y módulo de sección idénticos a los indicados en el manual. En realidad estos elementos están embebidos en concreto formando columnas de 40 cm x 40 cm, y que muy probablemente se haya complementado con refuerzo con el fin de confinar el concreto y formar un solo elemento con el perfil de acero. Sin embargo, dentro del análisis se consideraron los elementos metálicos simples, despreciando la resistencia del concreto dejándola para soportar esfuerzos adicionales haciendo un diseño bastante conservador. Esta consideración nos permite además despreciar los efectos de pandeo local en los elementos metálicos ya que los extremos no atiesados de las vigas I se vuelven restringidos. La revisión de estos elementos se hizo con un criterio de esfuerzos permisibles tomando el esfuerzo indicado en el Manual Monterrey y utilizando la fórmula de la escuadría para calcular el esfuerzo de trabajo.

Los muros se modelaron como elementos *Shell Thick*, capaces de transmitir carga vertical así como limitar las deformaciones agregando rigidez al movimiento horizontal en el modelo. Se hicieron tres tipos de muros de acuerdo con una simplificación que se hizo de los muros en sólo tres espesores: 0.15 m, 0.40 m y 0.80 m, lo anterior con la intención de lograr los diferentes planos de fachada que configuran el estil arquitectónico pero sin llegar a los muros de 1.0 m que harían una estructura aún más pesada que la diseñada con estas consideraciones. El sistema de piso se modeló con un elemento *Shell* tipo membrana, que es capaz de transmitir la carga completa a las vigas ya que se considera que no tiene rigidez en su plano. El espesor que se usó fue de 0.20 m. Se eligió este tipo de elemento pues es lo más parecido a las consideraciones para la bajada de cargas que se hace manualmente (triangulación de las áreas tributarias a 45°). A cada piso se le asignó un diafragma que el programa localiza en el centroide de la figura. En éste es donde se aplican las fuerzas de viento y donde se concentran las masas y correspondientes fuerzas de inercia para el análisis sísmico.

C. Propiedades geométricas de elementos

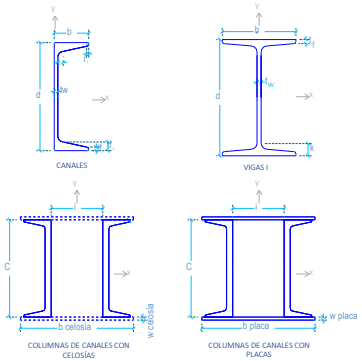
Dado que los elementos fueron fabricados por la Cía. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, se definieron las secciones con la geometría tomada del manual para vigas y columnas. La figura III.6 reúne la información referente a los diferentes tipos de elementos: Vigas sección I, sección canales, columnas de canales con placas y columnas de canales con celosía para el diseño de 1930; y secciones I y secciones cajón para el diseño de 2013.

Columnas de canales con celosía													
COLUMNA	Marca	Canal	d	bcelosía	wcelosía	*i*	Peso*		Area	I	r	Sx	Sy
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	cm²	cm4	cm	cm3	cm3
C-1	C8	8	203.2	203.2	6.4	125	42	102	43.2	2689	7.89	264.6	224.3
C-2	C10P	10P	254.0	254.0	6.4	132	117	288	132.8	9614.2	8.51	757	654.9
C-3	C12	12	304.8	304.8	6.4	195	79	227	77.8	10664.8	11.7	699.8	619.3
C-4	C12P	12P	304.8	304.8	6.4	168	137	326	151.7	16394.8	10.4	1075.8	959.3

Canales de Acero									
Marca	d		Peso	Area	b	tw	tf1	tf2	r1	r2
	in	mm	lb. ft	cm²	in	in	in	in	in	in
12	12	304.8	20.5	38.9	2.94	0.28	0.28	0.723	0.168	0.38
12P	12	304.8	40	75.87	3.418	0.758	0.28	0.723	0.168	0.38
10P	10	254	35	66.39	3.183	0.823	0.24	0.633	0.14	0.34
10	10	254	15	28.77	2.6	0.24	0.24	0.633	0.144	0.34
6	6	152.4	8	15.35	1.92	0.2	0.2	0.487	0.12	0.3

Columnas de canales con placa															
COLUMNA	Marca	Canal	d	bplaca	wplaca	*i*	Peso*		Area	Ix	rx	Sx	Iy	ry	Sy
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	cm²	cm4	cm	cm3	cm4	cm	cm3
C-5	10PP-10	10P	254.0	304.8	9.5	124	151	295	190.7	19671.0	10.2	1441.1	12370.0	8.3	870.7
C-6	10PP-13	10P	254.0	304.8	12.7	124	166	295	210.2	23391.0	10.6	1674.4	14780.0	8.4	969.8
C-7	10PP-16	10P	254.0	304.8	15.9	124	181	313	229.7	27286.0	10.9	1909.4	16290.0	8.4	1068.9
C-8	10PP-22	10P	254.0	304.8	22.2	124	212	313	268.1	35479.0	11.5	2377.9	19264.0	8.4	1264.0
C-9	12PP-22	12P	304.8	355.6	22.2	162	243		309.6	58667.0	13.8	3360.1	32149.0	10.2	1808.2
C-10	12PP-25	12P	304.8	355.6	25.4	162	261		332.4	65730.8	14.1	3696.9	34547.0	10.2	1943.0

Vigas I														
TRABE	Marca	d	tw	b	tf	k	Peso	Area	Ix	rx	Sx	Iy	ry	Sy
		mm	mm	mm	m	m	kg/m	cm²	cm4	cm	cm3	cm4	cm	cm3
T-1	10	254	7.9	118.3	7.9	17.1	89.3	47.55	5082	10.34	400.2	286.8	2.46	48.4
T-2	12	304.8	8.9	127	8.9	18.7	62.5	59.74	8982.9	12.27	589.4	395.4	2.57	62.3
T-3	12P	304.8	11.7	133.3	11.7	21.8	59.5	76.39	11193.7	12.12	734.5	574.8	2.74	86.2
T-4	15	381	10.4	139.7	10.4	21.2	46.9	80.52	18387.3	15.11	965.2	608.5	2.75	87.1
T-5	15P	381	15	152.4	15	26.4	37.2	114	25348.6	14.91	1330.6	1080.5	3.07	141.8



* Para estas columnas se proporcionan dos pesos: peso por metro de caña y peso por base y capitel respectivamente.

SECCIONES PARA EL DISEÑO 1930

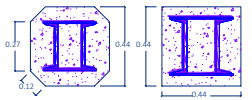
TRABE	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	EJE X-X			EJE Y-Y			Módulo de sección plástico	
							d	*tw*	*bf*	*tf*			Ix	rx	Sx	Iy	ry	Sy	*Zx*	*Zy*
	mm	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm4	cm	cm3	cm4	cm	cm3	cm3	cm3
T-1	305	x	52.2	12	x	35	318.0	7.6	167.0	13.2	52.2	66.5	11863.0	747.0	13.3	1020.0	122.0	3.9	839.0	188.0
T-2	457	x	52.2	18	x	35	449.6	7.6	152.4	10.8	52.2	66.5	21227.8	944.0	17.9	636.8	84.0	3.1	1089.7	132.7
T-3	457	x	74.5	18	x	50	456.9	9.0	190.4	14.5	74.5	94.8	33298.5	1457.0	18.7	1669.1	175.0	4.2	1655.1	272.0
T-4	457	x	89.1	18	x	60	463.3	10.5	191.9	17.7	89.1	113.5	40957.2	1770.0	18.9	2085.3	218.0	4.3	2015.6	337.6
T-5	457	x	105.3	18	x	71	469.1	12.6	193.9	20.6	105.3	134.2	48699.1	2081.0	19.1	2509.9	259.0	4.3	2376.1	404.8
T-6	457	x	157.5	18	x	106	475.7	15.0	284.5	23.9	157.5	200.6	79500.2	3343.0	19.9	9157.1	646.0	6.8	3769.0	991.4
T-7	457	x	177.8	18	x	119	481.8	16.6	286.1	26.9	177.8	226.5	91154.7	3785.0	20.0	10530.7	736.0	6.8	4277.0	1132.3
T-8	533	x	196.5	21	x	132	554.0	16.5	316.0	26.3	169.5	250.3	134026.0	4834.0	23.2	13890.0	877.0	7.4	5457.0	1349.0
T-9	610	x	195.0	24	x	131	622.0	15.4	327.0	24.4	195.0	248.4	167324.0	5391.0	25.9	14652.0	869.0	7.5	6063.0	1336.0

COLUMNA	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	EJE X-X			EJE Y-Y			Módulo de sección plástico	
							d	*tw*	*bf*	*tf*			Ix	rx	Sx	Iy	ry	Sy	*Zx*	*Zy*
	mm	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm4	cm	cm3	cm4	cm	cm3	cm3	cm3
C-1	356	x	101.3	14	x	68	357.0	10.5	255.0	18.3	101.3	129.0	30093.0	1688.0	15.3	5036.0	397.0	6.2	1885.0	605.0
C-2	356	x	147.4	14	x	99	360.0	12.3	370.0	19.8	147.4	187.8	46202.0	2573.0	15.7	16732.0	905.0	9.4	2835.0	1370.0
C-3	356	x	178.8	14	x	120	368.0	15.0	373.0	23.9	178.8	227.8	57440.0	3114.0	15.8	20603.0	1106.0	9.5	3474.0	1671.0
C-4	356	x	216.3	14	x	145	375.0	17.3	394.0	27.7	216.3	275.5	71175.0	3802.0	16.1	28179.0	1431.0	10.1	4261.0	2179.0
C-5	356	x	314.0	14	x	211	399.0	24.9	401.0	39.6	314.0	400.0	110717.0	5539.0	16.6	42872.0	2130.0	10.3	6391.0	3245.0
C-6	356	x	421.9	14	x	283	425.0	32.8	409.0	52.6	421.9	537.5	159839.0	7522.0	17.2	59937.0	2933.0	10.6	8882.0	4490.0

TRABE	Designación d x peso						*Area*	I	r	Sx
	mm	x	kg/m	in.	x	lb/ft	cm²	cm4	cm	cm3
CV1	152.4	x	12.7	6	x	1/2	71	2327.4	5.7	305.4
CV2	152.4	x	15.9	6	x	5/8	87	2729.5	5.6	358.2
CV3	152.4	x	2.54	6	x	1	129	3607.3	5.3	473.4
L1	76.2	x	12.7	3	x	1/2	32	225.5	2.6	59.2

SECCIONES PARA EL DISEÑO 2013

NOTA: En el edificio real, las columnas están formadas por canales unidos con celosía o con placa, recubiertos con concreto, resultando secciones de 44 cm. Para el análisis se omitió la participación estructural del concreto en estos elementos.



COLUMNAS CONTRALES CON REFUERZO DE CANALES CON CELOSÍAS DE 8 in

COLUMNAS PERIMETRALES CON REFUERZO DE CANALES DE ACERO DE 12 in

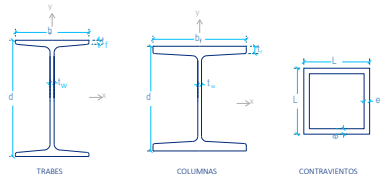
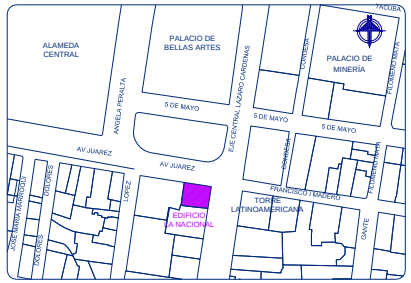
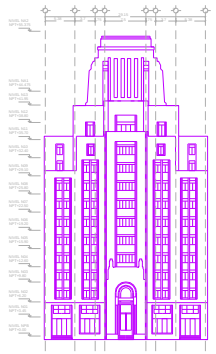
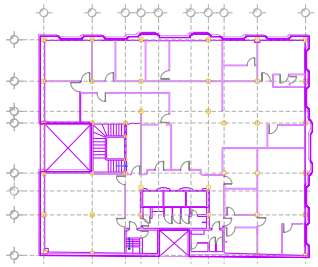


Fig. III.6 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES USADAS PARA EL DISEÑO DEL EDIFICIO 'LA NACIONAL'





ELEVACIÓN ESQUEMÁTICA



PLANTA ESQUEMÁTICA

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presentó:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Modelo: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIII.6	Escala: SIN	
Título: PROP. GEOMÉTRICAS SECCIONES	Fecha: 17/08/13	Figura: III.6		

D. Propiedades mecánicas de materiales

1. Concreto

Este material era ya bien conocido en 1930. La revista Cemento publicaba las especificaciones del ACI con el fin de difundir el buen uso de este material. Se conocía ya la importancia que tenía la cantidad de agua en la revoltura por lo que se especificaban tablas de dosificación para hacer un concreto resistente. En la tesis de la Lotería Nacional se encuentra la siguiente tabla en la que se mencionan tres calidades del concreto con su respectiva dosificación. Para este análisis se tomó un concreto con una resistencia de 210 kg/cm²

Resistencia Buscada	Parte de cemento en peso	Parte de arena en peso	Parte de confitillo en peso	Kg de cemento por m^3 de revoltura	Litros de arena por m^3 de revoltura	Litros de confitillo por m^3 de revoltura
280	1:00	1.12:	2.08	490	339	773
210	1:00	1.48:	2.3	420	388	735
140	1:00	2.01:	2.41	359	476	668

Por otro lado, el Manual de Acero de Monterrey dice que el módulo de elasticidad para concretos cuya resistencia máxima en compresión sea superior a 204 kgf/cm² es igual a 211,000 kgf/cm².

Así, las propiedades del concreto que se utilizaron para el análisis de 1930 fueron:

- Esfuerzo de compresión f'_c=210 kgf/cm²
- Módulo de elasticidad, E=211,000 kgf/cm²

Para la solución actual, se eligió concreto con f'c = 250 kgf/cm² ya que es de uso común. El módulo de elasticidad se consideró de acuerdo a la siguiente fórmula presente en el RCDF.

$$E_c = 14000\sqrt{f^*_c}$$

En resumen, para el diseño de 2013 se tomó:

- Esfuerzo de compresión f'_c=250 kgf/cm²
- Módulo de elasticidad, E=221,359 kgf/cm²

2. Acero

En los años en que se proyectó La Nacional, los aceros estructurales de uso frecuente eran el ASTM-A7 y ASTM-A9, que tenían las siguientes especificaciones[84]:

Fecha	Especificación		Esfuerzo de Tensión, F_u		Esfuerzo de Fluencia, F_y	
			[ksi]	[kgf/cm²]	[ksi]	[kgf/cm²]*
1924-1931	ASTM, A7	Structural Steel	55	3866.9	1/2 F_u o no menor de 30	2109.2
	ASTM, A9	Structural Steel	55	3866.9	1/2 F_u o no menor de 30	2109.2

* Tomando el valor de 30 ksi

El Manual de la Cía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, en su sección sobre la resistencia de los materiales, proporciona la siguiente información respecto al acero estructural para construcciones:

Material	Tensión		Limite de elasticidad	Tensión, Compresión, Flexión, Cortante (máximos)	Módulo de elasticidad		Alargamiento
Acero	[ksi]	[kgf/cm²]	[kgf/cm²]	[kgf/cm²]	[ksi]	[kgf/cm²]	[%]
Perfilado para construcciones	55-65	3870-4570	1/2 Tens.	Tens.	29,000,000	2,039,000	25.4-21.5

Como se puede apreciar, el acero de la Cia. de Monterrey cumplía con las especificaciones del acero ASTM-A7, por lo que, para el diseño de 1930, se toman los valores de este.

- Esfuerzo de tensión, F_u =55 ksi F_u=3,867 kgf/cm²
- Esfuerzo de fluencia, F_y =30 ksi F_y=2,109 kgf/cm²
- Módulo de elasticidad, E=29,000,000 ksi E=2,039,000 kgf/cm²

La tabla del Manual de la Cía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey fue calculada con un criterio de esfuerzos permisibles. En este caso, se consideró un esfuerzo permisible igual al 0.6 del esfuerzo de fluencia, el cual garantiza que las estructuras trabajen siempre en el rango elástico. Entonces, el esfuerzo permisible se establece como:

- Esfuerzo permisible para el acero, σ_{perm}=1,265 kgf/cm².

[84] http://www.reluis.it/doc/pdf/normative/FEMA273/ch05.pdf

E. Cargas actuantes en la estructura y combinación de acciones.

Para el análisis de la estructura, y como lo indican las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, se consideraron 3 tipos diferentes de acciones:

- Acciones Permanentes
  - CM, Peso propio y carga muerta de la estructura
- Acciones Variables
  - $CV_{Máx}$, Carga viva con intensidad máxima
  - CV_{inst}, Carga viva con intensidad instantánea
- Acciones Accidentales
  - S, Efectos de sismo
  - V, Efectos de viento

Las primeras consideran acciones que obran de forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Dentro de esta categoría se encuentra la carga muerta, constituida por el peso de los muros de concreto, columnas y trabes de la estructura y escaleras del edificio.

Las acciones variables son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Aquí se consideran la carga viva máxima y la carga viva instantánea, mismas que se especifican en el capítulo 6 de la misma norma. Se omite la carga viva media dado que no se hará análisis de asentamientos.

Las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves de tiempo. Dadas las características de la Ciudad de México, es importante revisar el comportamiento de la estructura ante efectos sísmicos que se incluyen en esta categoría. De igual forma, debido a que es una estructura de altura significativa, se evalúan también los efectos de viento que puede sufrir la estructura.

1. - Combinaciones de acciones

Se consideran dos categorías de combinaciones de acciones; las que incluyen acciones permanentes y variables, y aquellas que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales.

- Condiciones básicas de carga

C01 = Carga Muerta (Peso Propio + Sobre Carga Muerta)	(CM)
C02 = Carga Viva Máxima	($CV_{máx}$)
C03 = Carga Viva Instantánea	(CV_{ins})
C04 = Sismo Dinámico X	(SDX)
C05 = Sismo Dinámico Y	(SDY)
C06 = Viento en dirección Este - Oeste	(VEO)
C07 = Viento en dirección Norte - Sur	(VNS)

- Combinaciones de carga para revisión de desplazamientos

C11 = 1.00 (CM + $CV_{máx}$)

C12 = 1.00 (CM + CV_{ins} + Sx_{din} + 0.30 Sy_{din})

C13 = 1.00 (CM + CV_{ins} + 0.30 Sx_{din} + Sy_{din})

C14 = 1.00 (CM + CV_{ins} – Sx_{din} – 0.30 Sy_{din})

C15 = 1.00 (CM + CV_{ins} – 0.30 Sx_{din} – Sy_{din})

C16 = 1.00 (CM + CV_{ins} + Sx_{din} – 0.30 Sy_{din})

C17 = 1.00 (CM + CV_{ins} + 0.30 Sx_{din} – Sy_{din})

C18 = 1.00 (CM + CV_{ins} – Sx_{din} + 0.30 Sy_{din})

C19 = 1.00 (CM + CV_{ins} – 0.30 Sx_{din} + Sy_{din})

- Combinaciones de carga para diseño de elementos de acero

C21 = 1.07 (CM + $CV_{máx}$)

C22 = 0.75 (CM + CV_{ins} + Sx_{din} + 0.30 Sy_{din})

C23 = 0.75 (CM + CV_{ins} + 0.30 Sx_{din} + Sy_{din})

C24 = 0.75 (CM + CV_{ins} – Sx_{din} – 0.30 Sy_{din})

C25 = 0.75 (CM + CV_{ins} – 0.30 Sx_{din} – Sy_{din})

C26 = 0.75 (CM + CV_{ins} + Sx_{din} – 0.30 Sy_{din})

C27 = 0.75 (CM + CV_{ins} + 0.30 Sx_{din} – Sy_{din})

C28 = 0.75 (CM + CV_{ins} – Sx_{din} + 0.30 Sy_{din})

C29 = 0.75 (CM + CV_{ins} – 0.30 Sx_{din} + Sy_{din})

F. Efectos de cargas permanentes

Para calcular las cargas muertas a considerarse en la estructura, se utilizó el modelo realizado a partir de los planos, y se comparó con el peso calculado por el programa de análisis, por lo que en el siguiente análisis de cargas no se incluyen los pesos de muros y losas dado que el programa considera ya el peso propio de la estructura. Parte de esta información fue verificada con el levantamiento geométrico de la estructura.

Las cargas vivas se eligieron conforme a los valores especificados en el artículo 160 del RCDF 2004.

Análisis de cargas	***Planta Baja***						
Acabados	40	kgf/m²	*Carga Muerta*	**CM =**	**115**	**kgf/m²**	Comercio
Instalaciones	15	kgf/m²	*Carga viva media*	**W =**	**280**	**kgf/m²**	
Plafón	20	kgf/m²	*Carga viva instantánea*	**W_a =**	**315**	**kgf/m²**	
Sobrecarga RCDF	40	kgf/m²	*Carga viva Máxima*	**W_m =**	**350**	**kgf/m²**	
	115	kgf/m²					

Análisis de cargas ***Niveles 1-13***

Acabados	30	kgf/m²	*Carga Muerta*	**CM =**	**105**	**kgf/m²**	Oficina
Instalaciones	15	kgf/m²	*Carga viva media*	**W =**	**100**	**kgf/m²**	
Plafón	20	kgf/m²	*Carga viva instantánea*	**W_a =**	**180**	**kgf/m²**	
Sobrecarga RCDF	40	kgf/m²	*Carga viva Máxima*	**W_m =**	**250**	**kgf/m²**	
	105	kgf/m²					

Análisis de cargas ***Azotea***

Impermeabilizante	1	kgf/m²	*Carga Muerta*	**CM =**	**46**	**kgf/m²**	Azotea
Instalaciones	20	kgf/m²	*Carga viva media*	**W =**	**15**	**kgf/m²**	
Otros	5	kgf/m²	*Carga viva instantánea*	**W_a =**	**70**	**kgf/m²**	
Sobrecarga RCDF	20	kgf/m²	*Carga viva Máxima*	**W_m =**	**100**	**kgf/m²**	
	46	kgf/m²					

Análisis de cargas ***Pasillos y Escaleras***

Acabados	50	kgf/m²	*Carga Muerta*	**CM =**	**120**	**kgf/m²**	Pasillos y escaleras
Instalaciones	20	kgf/m²	*Carga viva media*	**W =**	**40**	**kgf/m²**	
Otros	10	kgf/m²	*Carga viva instantánea*	**W_a =**	**150**	**kgf/m²**	
Sobrecarga RCDF	40	kgf/m²	*Carga viva Máxima*	**W_m =**	**350**	**kgf/m²**	
	120	kgf/m²					

G. Efectos de cargas accidentales: sismo y viento

1. Sismo

El capítulo VI del RCDF-04 así como las NTC-Sismo, establecen los parámetros que se deben utilizar para hacer el diseño por sismo de las estructuras.

a) Consideraciones debidas a sismo en 1930

A continuación se mencionan las consideraciones para tomar en cuenta las fuerzas de los temblores, encontradas en la tesis de la Lotería Nacional, que si bien ésta es de 1935, por extensión se considera que para 1930 debieron haber sido las mismas.

En 1930, se consideraba que los esfuerzos debidos a sismo y a viento provocaban en las estructuras un momento de volteo asociado a su vez a un cortante en las conexiones de las columnas y una tendencia al

deslizamiento en la base. La clasificación de los sismos se hacía con la escala de Sieberg que era una escala de intensidad.

Las aceleraciones más grandes que se registraron de 1911 a 1932 en la estación de Tacubaya fueron del orden de 100 mm/s², así que para el análisis de estructuras por acciones sísmicas era usual el considerar una aceleración máxima de 300 mm/s².

De esta forma, para considerar esta aceleración debida a sismo se comienza el análisis con la segunda Ley del movimiento de Newton:

$$F = m \times a$$

donde: F : fuerza horizontal
m : masa
a : aceleración

La masa expresada en función del peso *P* es:

$$m = \frac{P}{g}$$

Siendo *g* la aceleración de la gravedad, entonces sustituyendo en la expresión anterior tenemos:

$$F = \frac{a}{g} \times P = \frac{0.3 m/s^2}{9.81 m/s^2} \times P = 0.0305 \times P$$

Este valor a/g es el que actualmente se conoce como coeficiente sísmico y que como veremos posteriormente para este edificio las normas actuales indican un valor de 0.45 reducido a 0.28125 por cuestión de la ductilidad del edificio. De cualquier forma, este valor resulta de poco más de 9 veces el coeficiente que resulta tomando las consideraciones de aquellos años, por lo que para la solución estructural de 1930 se omitirá la participación del sismo dentro del análisis.

La poca importancia que se le daba a los efectos de sismo para el análisis y diseño de estructuras en las primeras décadas del siglo XX puede apreciarse en las especificaciones para la revisión del proyecto de la Lotería Nacional donde se indica que "se deja en libertad a los proponentes de tomar en consideración los esfuerzos dinámicos debidos a temblores, aplicando para ello su criterio personal, el cual será tomado en cuenta al hacer la comparación de las proposiciones" indicando que podría tomarse en cuenta, pero no era obligatorio que así se hiciera.

b) Sismo de acuerdo al RCDF 2004

(1) Tipo de análisis

La estructura tiene una altura de 55.4m por lo que no es posible aplicar ni el método simplificado ni el análisis estático, así que se realizará un análisis dinámico modal espectral.

El análisis modal espectral es un procedimiento para el análisis dinámico de una estructura sujeta a sismo, en el cual, el problema se reduce a una serie de análisis estáticos, basado en el hecho de que la respuesta total es la superposición de las respuestas de los diferentes modos naturales de vibración. Consta de los mismos pasos básicos que el análisis estático, con la salvedad de que las fuerzas laterales aplicadas a los centros de masa se determinan a partir de la respuesta dinámica de la estructura. Para cada modo considerado, el análisis estático de la estructura sujeta a las fuerzas da como resultado la respuesta estática modal, misma que después es multiplicada por la ordenada espectral de pseudo-aceleración para obtener la respuesta dinámica. Este análisis es dinámico puesto que usa las propiedades vibratorias de la estructura (frecuencias naturales, modos de vibrar y relaciones de amortiguamiento) y la características dinámicas de vibración del sitio a través de los espectros de respuesta y de diseño.

Para este análisis, las NTC-S establecen que se deben considerar los efectos de todos los modos con periodos mayores a 0.4 segundos o los primeros tres primeros modos de vibrar cuando se desprecie el acoplamiento entre los grados de libertad de traslación horizontal, o, cuando se considere dicho acoplamiento, se deben considerar todos los modos cuyos pesos efectivos sumen el 90% del peso total de la estructura. Para esto, el peso modal efectivo se determina como:

$$W_{ei} = \frac{(\{\varphi_i\}^T [W] \{I\})^2}{\{\varphi_i\}^T [W] \{\varphi\}}$$

Donde $\{\varphi_i\}$ es el vector de amplitudes del i-ésimo modo natural de vibrar, [W] es la matriz de pesos de las masas de la estructura y $\{I\}$ es una matriz formada por “unos” en las posiciones correspondientes a los grados de libertad de traslación en la dirección y “ceros” en las otras posiciones.

Una vez que se determinan los modos de vibrar que tiene el edificio, es necesario combinar sus efectos para conocer el comportamiento de la estructura ante una excitación dinámica específica tomando en cuenta la contribución de cada modo. La respuesta final es la combinación de las respuestas independientes de cada uno de los modos, multiplicadas por un coeficiente de participación con el cual se calculan las respuestas modales S_i. Las mismas normas establecen que para calcular las respuestas totales, en los casos de sistemas remotamente acoplados, se combinarán las respuestas modales conforme la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\sum S_i^2}$$

Finalmente, se debe revisar que la fuerza cortante basal calculada con este método de análisis no deberá ser menor que el 80% de la que arrojaría un análisis estático.

(2) Espectro de diseño sísmico

En la sección II-C se hizo el análisis de la zonificación de la estructura, resultando:

- Zona sísmica (NTC-Sismo) Zona III-b
- Clasificación de la estructura según su uso (Art. 139) Grupo B1

De acuerdo con lo anterior, a la estructura le corresponden los siguientes parámetros para calcular el espectro de aceleraciones:

- Coeficiente sísmico (Función de su periodo fundamental) c = 0.45
- Ordenada del espectro correspondiente a T=0 a_0= 0.11
- Periodo característico T_a= 0.85 s
- Periodo característico T_b= 3 s
- Exponente de la ordenada espectral r = 2.0

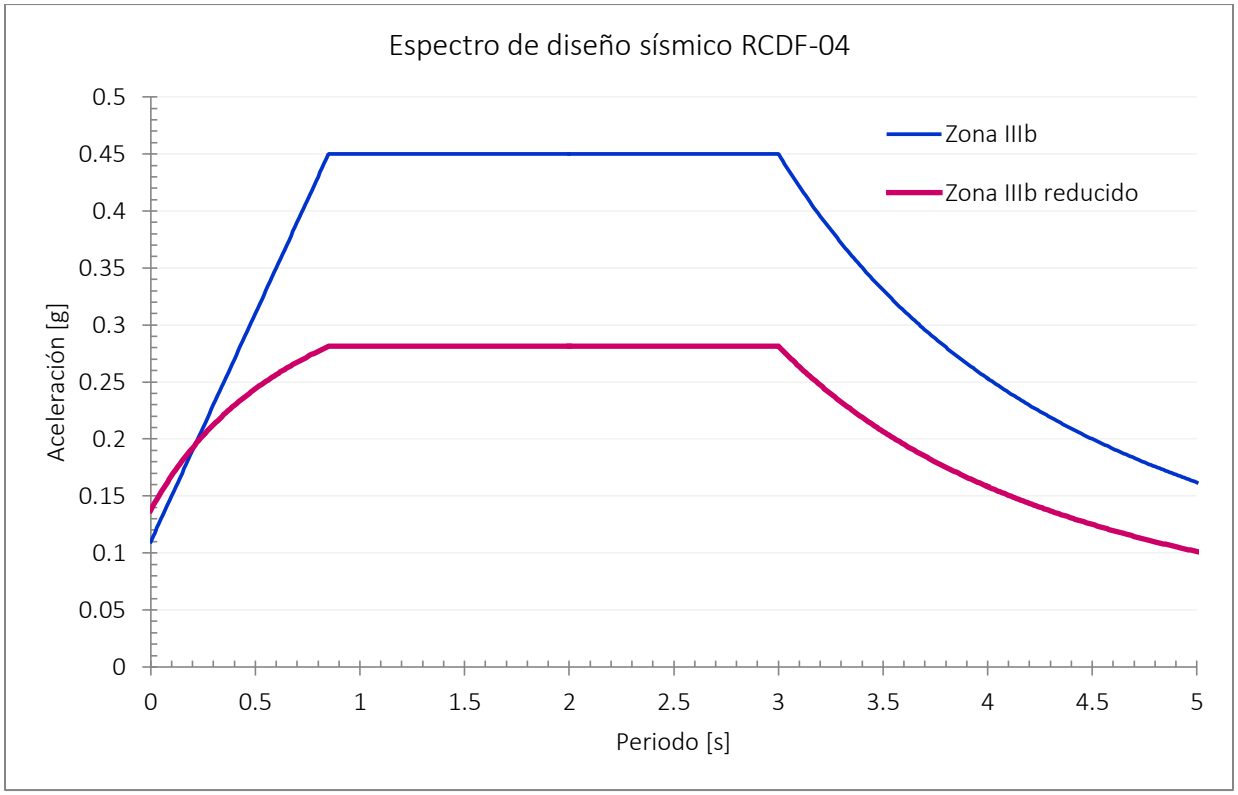


Figura III.7 Espectro de diseño para el edificio La Nacional. RCDF-04, OMG, 2013

(3) Factor de comportamiento sísmico

El factor de comportamiento sísmico especificado en la sección 5 de las NTC-S se establece con un valor Q=2, dado que la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o concreto reforzado y muros de concreto reforzado que no cumplen con las especificaciones necesarias para ser considerados dúctiles.

- Factor de comportamiento sísmico Q=2

(4) Condiciones de regularidad

Las NTC-S establecen la siguiente serie de condiciones para considerar regular a una estructura.

1. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Éstos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.

   CUMPLE

2. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.

   $$\frac{55.375m}{23.95m} = 2.31$$ CUMPLE

3. La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5

   $$\frac{29.15m}{23.95m} = 1.22$$ CUMPLE

4. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera entrante o saliente.

   CUMPLE

5. En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente

   CUMPLE

6. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.

   $$\frac{125m^2}{683.84m^2} = 18.30\%$$ CUMPLE

7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.

	PESO	%
NIVEL	TOTAL	%
13	371.3	83%
12	445.4	73%
11	613.4	97%
10	630.4	96%
9	658.6	100%
8	658.6	100%
7	658.6	100%
6	658.6	100%
5	658.6	110%
4	599.3	84%
3	710.6	113%
2	628.0	91%
1	690.9	88%

NO CUMPLE

8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.

1a	Área	%
LEVEL	m²	%
13	388.95	100%
12	388.95	65%
11	594.58	100%
10	594.58	94%
9	630.03	100%
8	630.03	100%
7	630.03	100%
6	630.03	100%
5	630.03	100%
4	630.03	100%
3	630.03	92%
2	683.84	93%
1	735.07	96%
-1	761.74	

NO CUMPLE

9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes y losas planas.

CUMPLE

10. Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último piso queda excluido de este requisito.

CUMPLE

11. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, e_u, excede del 10 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

CUMPLE

De este análisis se concluye que la estructura es irregular.

(5) Factor de reducción

Dado que la estructura no cumple con uno o más requisitos para considerarla regular, el factor de comportamiento sísmico se multiplica por un factor de 0.8

$$Q = 2$$

$$Q` = 0.8 \times Q = 0.8 \times 2 = 1.6$$

2. Viento

a) Consideraciones debidas a viento en 1935

De forma similar a las consideraciones debidas a sismo, las siguientes son las consideraciones tomadas de la tesis de la Lotería Nacional, que se toman como las usuales en 1930.

En 1930 se consideraba que la velocidad del viento más fuerte que había sido registrada en el Distrito Federal es de 24 m/s. El procedimiento de cálculo de los efectos de viento en aquellos años es el siguiente:

Se sabe que el impulso de una fuerza obrando sobre un cuerpo durante cierto tiempo es igual al incremento de la cantidad de movimiento en ese tiempo, esto es:

$$F\Delta t = m \times V + m \times V_o$$

donde: F : presión
Δt : diferencial de tiempo
V_0 : velocidad inicial
V : velocidad del viento después del choque, que es V = 0

Si el viento sopla normalmente a una superficie, la cantidad de aire que llega en un tiempo determinado tiene el volumen de una columna cuya base es la superficie expuesta y cuya altura es la velocidad del aire por segundo multiplicada por el tiempo, esto es:

$$Volumen = s \times V_o \times \Delta t$$

donde: s : superficie expuesta

Considerando que el peso de 1 m^3 de aire pesa 1.2 kgf, entonces:

$$m = \frac{1.2 \times s \times V_o \times \Delta t}{9.78}$$

$$F\Delta t = -m \times V_o = \frac{1.2 \times s \times V_o \times \Delta t}{9.78} \times V_o$$

$$F = \frac{1.2 \times s \times {V_o}^2}{9.78} = 0.123 \times s \times {V_o}^2$$

Si se considera 1 m^2 de superficie expuesta, entonces la presión que actúa en esa superficie es:

$$P = 0.123 \times 1 \times 24^2 = 70.5 \, {kgf}/{m^2}$$

b) Viento de acuerdo al RCDF 2004

Para el diseño de la estructura por viento se tomaron como base las disposiciones que se enuncian en las NTC-V.

La clasificación de la estructura es, de acuerdo al art. 174 del RCDF, del grupo B1 por ser un edificio de oficinas ubicado en la zona III con más de 15 m de altura.

Conforme a la clasificación para fines de diseño por viento y de acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que el viento puede ocasionar en la estructura, se clasifica dentro del Tipo I, que se describe como:

> Comprende las estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento. Incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta rígidos; es decir, que sean capaces de resistir las cargas debidas a viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las construcciones en que la relación entre altura y dimensión menor en planta es mayor que 5 o cuyo período natural de vibración excede de 1 segundo. Se excluyen también las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, la aplicación de presfuerzo u otra medida, se logre limitar la respuesta estructural dinámica.

Así, los efectos a considerar son los efectos estáticos del viento calculados de acuerdo al capítulo 3 de las NTC-V.

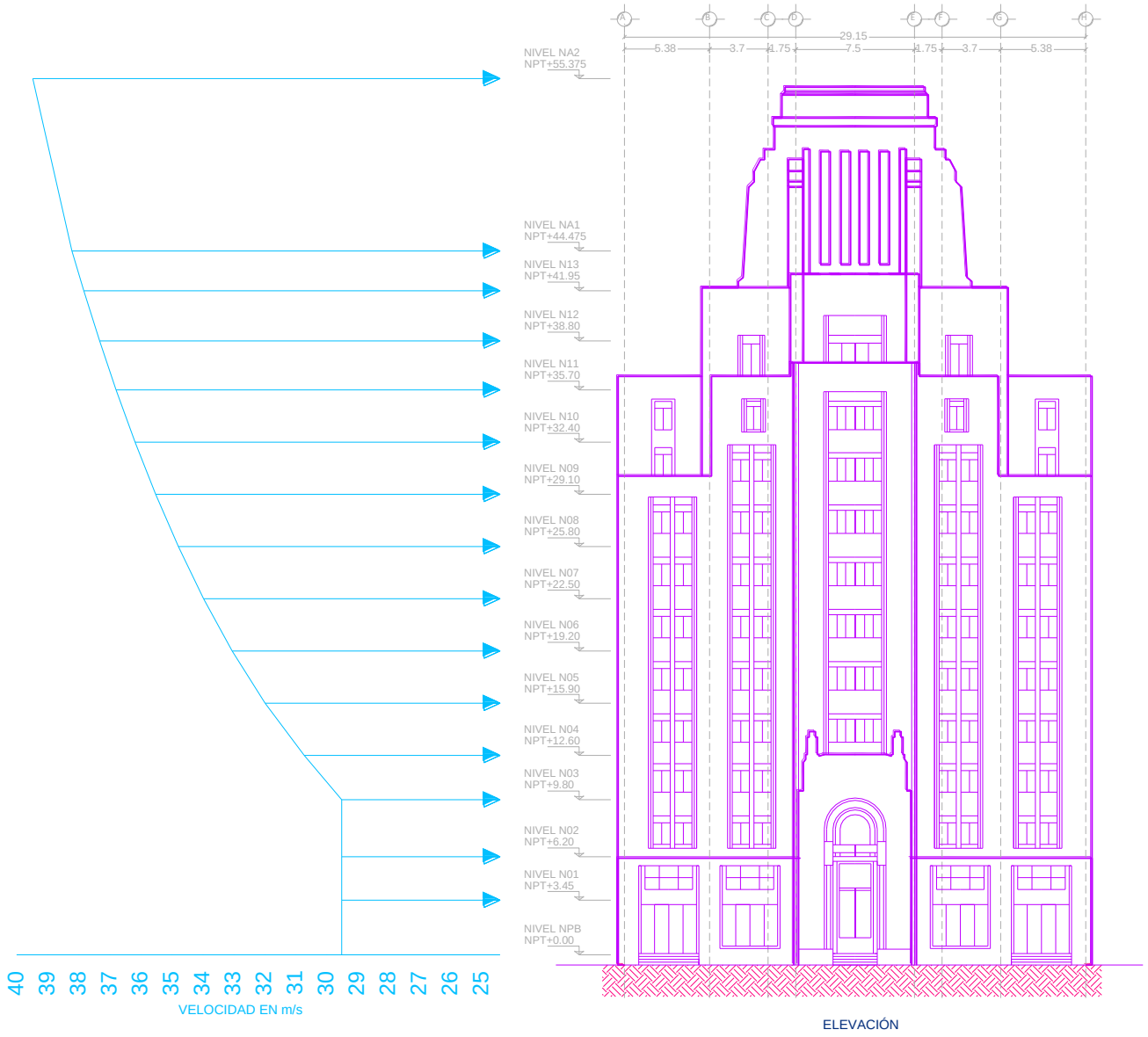
El detalle de los cálculos de la velocidad de diseño así como las presiones de diseño se presentan en el anexo C. La tabla III.4 Reúne la información que resulta de dichos cálculos y la figura III.8 muestra de forma esquemática la velocidad del viento de diseño en función de la altura.

Sin embargo, para cuestiones de diseño se considera que los efectos de viento pueden despreciarse toda vez que en una región como el valle de México, los efectos de sismo son más severos y suelen regir en el diseño.

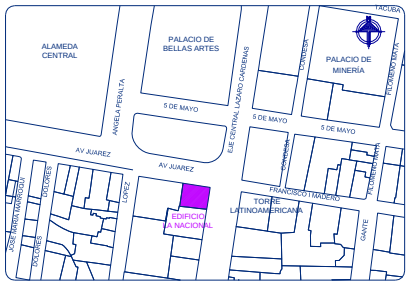
Tabla III-4 Tabla de velocidades, presiones y fuerzas estáticas del viento por nivel

	z [m]	V_R [m/s]	F_{TR}	α	δ [m]	Fα	Vd [m/s]	Cp	Pz [kgf/m²]	h' [m]	w' [m]	A_{trib} [m²]	F_{N-S} [tonf]	w' [m]	A_{trib} [m²]	F_{E-O} [tonf]
NA2	55.4	36.0	0.82	0.17	455	1.34	39.49	0.8	59.89	0.9	7.6	6.6	**0.39**	5.55	4.79	**0.29**
NA1	44.5	36.0	0.82	0.17	455	1.29	38.04	0.8	55.58	5.9	7.6	44.6	**2.48**	5.55	32.54	**1.81**
N13	42.0	36.0	0.82	0.17	455	1.28	37.67	0.8	54.49	2.8	23.9	67.8	**3.69**	19.45	55.19	**3.01**
N12	38.8	36.0	0.82	0.17	455	1.26	37.17	0.8	53.06	3.1	29.3	91.4	**4.85**	23.95	74.84	**3.97**
N11	35.7	36.0	0.82	0.17	455	1.24	36.65	0.8	51.58	3.2	29.3	93.6	**4.83**	23.95	76.64	**3.95**
N10	32.4	36.0	0.82	0.17	455	1.22	36.05	0.8	49.91	3.3	29.3	96.6	**4.82**	23.95	79.04	**3.94**
N09	29.1	36.0	0.82	0.17	455	1.20	35.40	0.8	48.12	3.3	29.3	96.6	**4.65**	23.95	79.04	**3.80**
N08	25.8	36.0	0.82	0.17	455	1.17	34.68	0.8	46.19	3.3	29.3	96.6	**4.46**	23.95	79.04	**3.65**
N07	22.5	36.0	0.82	0.17	455	1.15	33.88	0.8	44.09	3.3	29.3	96.6	**4.26**	23.95	79.04	**3.48**
N06	19.2	36.0	0.82	0.17	455	1.12	32.98	0.8	41.77	3.3	29.3	96.6	**4.03**	23.95	79.04	**3.30**
N05	15.9	36.0	0.82	0.17	455	1.08	31.94	0.8	39.18	3.3	29.3	96.6	**3.78**	23.95	79.04	**3.10**
N04	12.6	36.0	0.82	0.17	455	1.04	30.70	0.8	36.20	3.1	29.3	89.2	**3.23**	23.95	73.05	**2.64**
N03	9.8	36.0	0.82	0.17	455	1.00	29.52	0.8	33.46	3.2	29.3	93.6	**3.13**	23.95	76.64	**2.56**
N02	6.2	36.0	0.82	0.17	455	1.00	29.52	0.8	33.46	3.2	29.3	92.9	**3.11**	23.95	76.04	**2.54**
N01	3.5	36.0	0.82	0.17	455	1.00	29.52	0.8	33.46	3.1	29.3	90.7	**3.04**	23.95	74.25	**2.48**
NPB	0.0	36.0	0.82	0.17	455	1.00	29.52	0.8	33.46	1.7	29.3	50.5	**1.69**	23.95	41.31	**1.38**

h' es la mitad de la altura de entrepiso superior y la altura de entrepiso inferior para obtener el área tributaria de cada nivel.
w' es el ancho considerado en cada nivel, los últimos pisos corresponde a los entreejes D y E para dirección N-S, y 3-4 para dirección E-O
F_{N-S} es la fuerza del viento estático en cada nivel en la dirección Norte-Sur.
F_{E-O} es la fuerza del viento estático en cada nivel en la dirección Este- Oeste.



ELEVACIÓN



RESUMEN DE DISEÑO POR VIENTO

Cálculo de las fuerzas de viento de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento, del RCDF-04.

Grupo : B1
Tipo de estructura : 1
Velocidad regional : 36 m/s
Tipo de terreno : R4
Tipo de topografía : T2
Velocidad de diseño : 39.5 m/s

Fig. III.8 VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL EDIFICIO 'LA NACIONAL'

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Concepto:	Revisó:	Archivo:	Escala:
DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	JLTS/OMG	LN_CIII.8	SIN

Título:	Fecha:	Figura:
VELOCIDAD DEL VIENTO	17/08/13	III.8

Capítulo IV

IV. REVISIÓN DE RESULTADOS

A. Diseño estructural conforme la práctica profesional de los años treinta

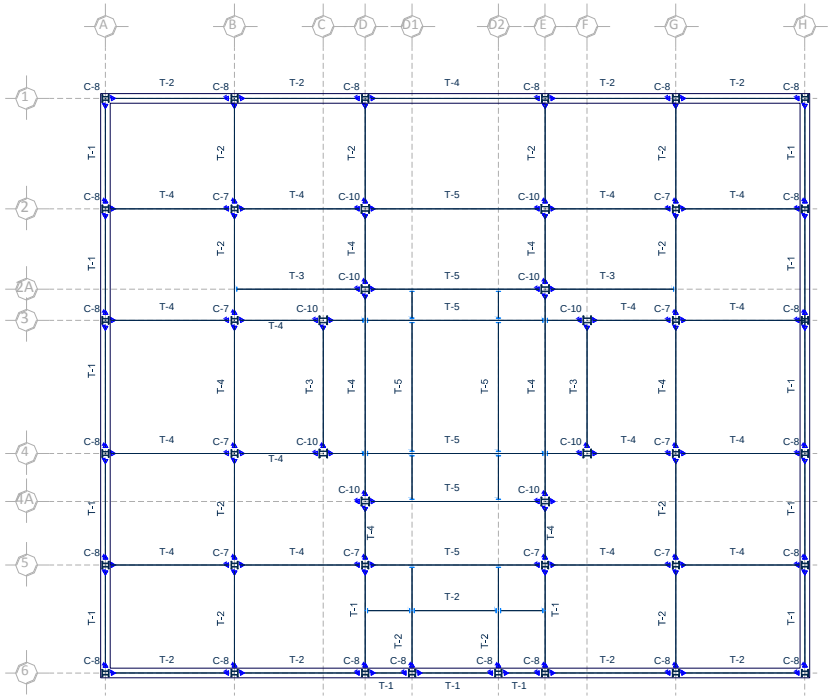
En el capítulo anterior se mostraron los lineamientos que posiblemente pudieron haberse seguido para ejercer la ingeniería en 1930. Las figuras IV.1, IV.2 y IV.3 muestran el diseño hecho con esas consideraciones. A continuación se exponen los resultados obtenidos del análisis estructural de ese modelo.

Para este diseño se adoptó un criterio de esfuerzos permisibles que fue de uso común hasta los años 70, cuando el criterio de estados límite por resistencia última comenzó a ganar popularidad. El esfuerzo permisible para el acero se tomó de 1265 kgf/cm², de acuerdo al manual de la Cía. Monterrey.

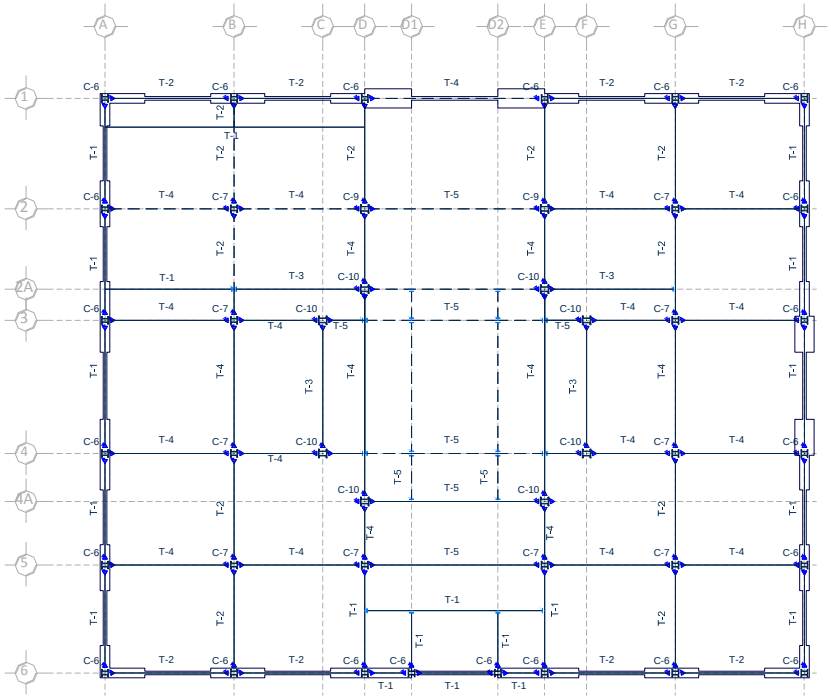
Dentro del análisis, se consideraron las secciones de acero sin recubrimiento de concreto, con la intención de acercarse a los valores con los que se pudo haber diseñado en la época, revisando que las propiedades geométricas de los elementos concuerden con las especificadas en el manual Monterrey. No se encontró referencia alguna al criterio adoptado en columnas de sección compuesta en cuanto a la participación del concreto en la capacidad de carga del elemento. Lo que se puede intuir es que se diseñaba la estructura de acero para ser estable durante el proceso de fabricación, dejando los esfuerzos soportados por el concreto como los que resisten las sobrecargas a que sería sometida la estructura. El criterio adoptado en esta revisión fue que la estructura de acero sin concreto fuera capaz de resistir las solicitaciones totales de la estructura haciendo quizá una estructura más robusta que la que en realidad se construyó; sin embargo, dada la carencia de información, y con el fin de uniformizar las dos propuestas, se decidió hacerlo de esa manera.

De igual forma, como se expresó en la sección G del capítulo anterior, la participación de las fuerzas horizontales debidas a sismo se despreció para realizar el diseño de 1930; aunque, dado que se pretende hacer una comparación entre el comportamiento de los dos diseños, se le asignó el valor del análisis sísmico modal espectral correspondiente a las normas vigentes con el fin de tener un parámetro más de comparación entre las dos soluciones.

Asimismo, los efectos de viento se despreciaron en el diseño por regir los efectos de sismo.



NIVEL PLANTA BAJA

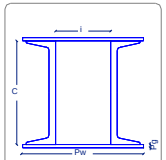


NIVELES N01, N02 Y N03

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Columnas con placas

COLUMNA	Marca	Canal	d	bplaca	wplaca	l	Peso		Area
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	cm²
C-1	C8	8	203.2	203.2	6.4	125	42	102	43.2
C-2	C10P	10P	254.0	254.0	6.4	132	117	288	132.8
C-3	C12	12	304.8	304.8	6.4	195	79	227	77.8
C-4	C12P	12P	304.8	304.8	6.4	168	137	326	151.7
C-5	10PP-10	10P	254.0	304.8	9.5	124	151	295	190.7
C-6	10PP-13	10P	254.0	304.8	12.7	124	166	295	210.2
C-7	10PP-16	10P	254.0	304.8	15.9	124	181	313	229.7
C-8	10PP-22	10P	254.0	304.8	22.2	124	212	313	268.1
C-9	12PP-22	12P	304.8	355.6	22.2	162	243		309.6
C-10	12PP-25	12P	304.8	355.6	25.4	162	261		332.4



Vigas I

TRABE	Marca	d	tw	b	tf	k	Peso	Area
		mm	mm	mm	m	m	kg/m	cm²
T-1	10	254	7.9	118.3	7.9	17.1	89.3	47.55
T-2	12	304.8	8.9	127	8.9	18.7	62.5	59.74
T-3	12P	304.8	11.7	133.3	11.7	21.8	59.5	76.39
T-4	15	381	10.4	139.7	10.4	21.2	46.9	80.52
T-5	15P	381	15	152.4	15	26.4	37.2	114

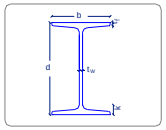


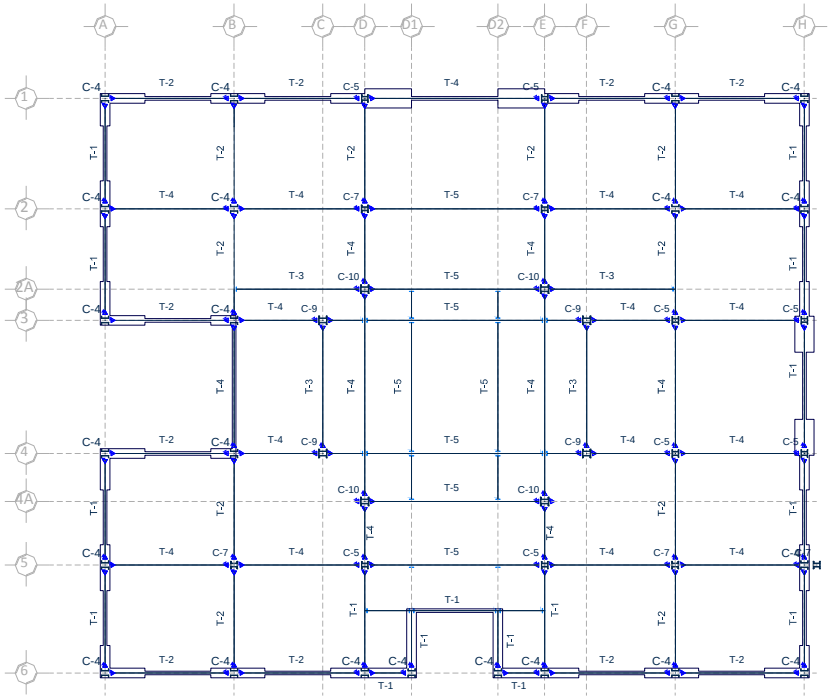
Fig. IV.1 PLANO DE TRABES Y COLUMNAS, DISEÑO 1930

NOTA. En el nivel N02, la configuración las trabes del eje B entre los ejes 1-2; y 2-2A, las del eje 2 entre los ejes A-B; y B-C, así como las de los ejes 1 a 3 entre los ejes D a E, se cortan para dejar paso a los vacíos que ahí existen. Ver planta de nivel.

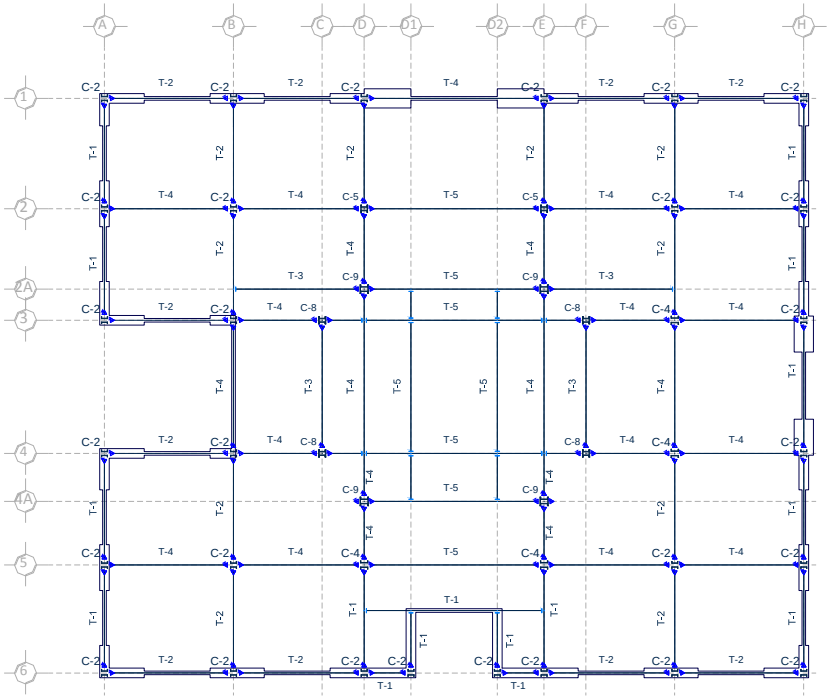
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presentó: OSCAR MINOR GARCÍA				
Director de Tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ				
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Revisó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.1	Escala: SIN	
Título: TRABES Y COLUMNAS 1930	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.1		



NIVELES N04, N05, y N06

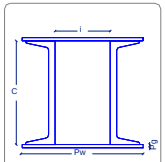


NIVELES N07, N08 y N09

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Columnas con placas

COLUMNA	Marca	Canal	d	bplaca	wplaca	I	Peso		Area
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	cm²
C-1	C8	8	203.2	203.2	6.4	125	42	102	43.2
C-2	C10P	10P	254.0	254.0	6.4	132	117	288	132.8
C-3	C12	12	304.8	304.8	6.4	195	79	227	77.8
C-4	C12P	12P	304.8	304.8	6.4	168	137	326	151.7
C-5	10PP-10	10P	254.0	304.8	9.5	124	151	295	190.7
C-6	10PP-13	10P	254.0	304.8	12.7	124	166	295	210.2
C-7	10PP-16	10P	254.0	304.8	15.9	124	181	313	229.7
C-8	10PP-22	10P	254.0	304.8	22.2	124	212	313	268.1
C-9	12PP-22	12P	304.8	355.6	22.2	162	243		309.6
C-10	12PP-25	12P	304.8	355.6	25.4	162	261		332.4



Vigas I

TRABE	Marca	d	tw	b	tf	k	Peso	Area
		mm	mm	mm	m	m	kg/m	cm²
T-1	10	254	7.9	118.3	7.9	17.1	89.3	47.55
T-2	12	304.8	8.9	127	8.9	18.7	62.5	59.74
T-3	12P	304.8	11.7	133.3	11.7	21.8	59.5	76.39
T-4	15	381	10.4	139.7	10.4	21.2	46.9	80.52
T-5	15P	381	15	152.4	15	26.4	37.2	114

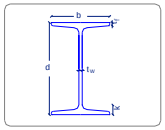
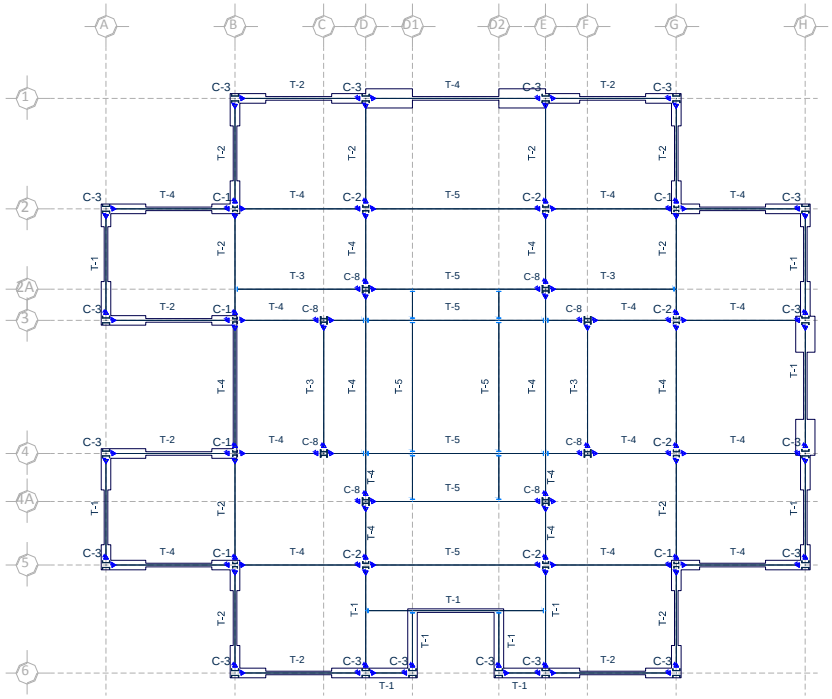


Fig. IV.2 PLANO DE TRABES Y COLUMNAS, DISEÑO 1930

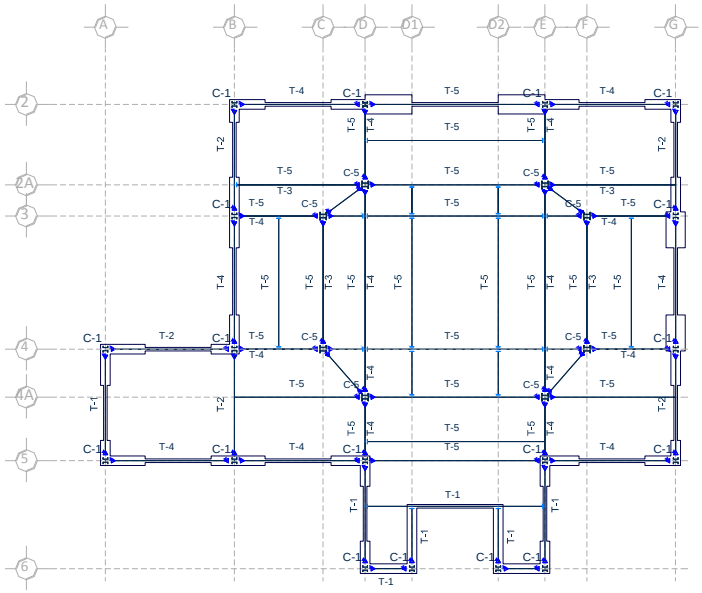
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

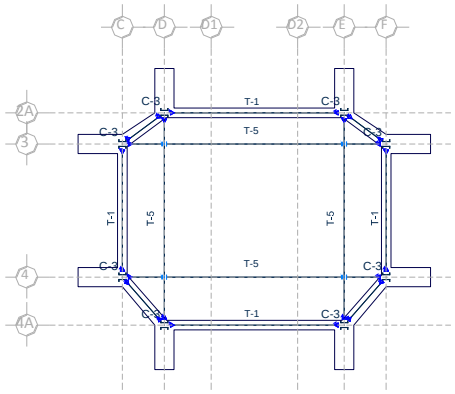
Presentó:	OSCAR MINOR GARCÍA		
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ		
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.2	Escala: SIN
Dibujo: TRABES Y COLUMNAS 1930	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.2	



NIVELES N10 y N11



NIVELES N12 y N13

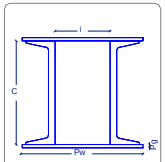


NIVELES A1 y A2

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Columnas con placas

COLUMNA	Marca	Canal	d	bplaca	wplaca	l	Peso		Area
			mm	mm	mm	mm	kg	kg	cm²
C-1	C8	8	203.2	203.2	6.4	125	42	102	43.2
C-2	C10P	10P	254.0	254.0	6.4	132	117	288	132.8
C-3	C12	12	304.8	304.8	6.4	195	79	227	77.8
C-4	C12P	12P	304.8	304.8	6.4	168	137	326	151.7
C-5	10PP-10	10P	254.0	304.8	9.5	124	151	295	190.7
C-6	10PP-13	10P	254.0	304.8	12.7	124	166	295	210.2
C-7	10PP-16	10P	254.0	304.8	15.9	124	181	313	229.7
C-8	10PP-22	10P	254.0	304.8	22.2	124	212	313	268.1
C-9	12PP-22	12P	304.8	355.6	22.2	162	243		309.6
C-10	12PP-25	12P	304.8	355.6	25.4	162	261		332.4



Vigas I

TRABE	Marca	d	tw	b	tf	k	Peso	Area
		mm	mm	mm	m	m	kg/m	cm²
T-1	10	254	7.9	118.3	7.9	17.1	89.3	47.55
T-2	12	304.8	8.9	127	8.9	18.7	62.5	59.74
T-3	12P	304.8	11.7	133.3	11.7	21.8	59.5	76.39
T-4	15	381	10.4	139.7	10.4	21.2	46.9	80.52
T-5	15P	381	15	152.4	15	26.4	37.2	114

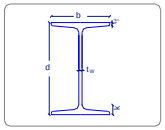


Fig. IV.3 PLANTA DE TRABES Y COLUMNAS, DISEÑO 1930

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presento:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.3	Escala: SIN	
Dibujo: TRABES Y COLUMNAS 1930	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.3		

1. Peso Total

De acuerdo con los resultados del modelo realizado para el diseño de 1930, el peso total de la estructura se distribuye como sigue:

Tabla IV-1 Peso Total 1930

Peso Propio		
Carga Muerta =	8,636.83	tonf
Carga Viva (Sobrecarga) =	2,077.74	tonf
Peso Propio (CM + CV) =	**10,714.57**	tonf
Relación CV/CM =	24.06%	

Respecto a esto, en la referencia de El Universal del día de la inauguración (28 de diciembre de 1932), se da un valor aproximado del peso del edificio estableciéndolo en 10,000 toneladas por lo cual podemos ver que el resultado del análisis es aproximado a los datos encontrados. Aquí gran parte del peso es debido a la parte del concreto de la que está hecha la estructura pues se consideraron muros de 15, 40 y 80 cm de espesor y una losa de 20 cm de peralte, representando un valor de 93% de la carga muerta de la estructura.

2. Modos de vibrar

El periodo natural de una estructura es función de la frecuencia natural circular, la cual a su vez es función de su masa y rigidez. Por tanto, los modos de vibrar son un indicio de la rigidez que tiene una estructura.

Para el modelo de 1930, se obtuvieron los siguientes periodos, de los cuales los primeros tres son los más importantes:

Tabla IV-2 Periodo y participación modal. 1930.

Modo	Periodo		% Masa en X	% Masa en Y	% Masa en X acum	% Masa en Y acum
T_1	0.5285	s	0.0	71.8	0.0	71.8
T_2	0.4246	s	72.8	0.0	72.8	71.8
T_3	0.2419	s	1.0	0.2	73.8	72.0
T_4	0.1711	s	0.0	12.9	73.8	84.9
T_5	0.1428	s	12.6	0.0	86.4	84.9
T_6	0.1076	s	0.0	3.5	86.4	88.4
T_7	0.0959	s	1.6	0.0	88.0	88.4
T_8	0.0880	s	1.0	0.6	89.0	89.0
T_9	0.0833	s	0.5	2.3	89.5	91.2
T_{10}	0.0723	s	2.3	0.0	91.8	91.3
T_{11}	0.0632	s	0.0	2.2	91.8	93.5
T_{12}	0.0571	s	0.9	0.1	92.7	93.6

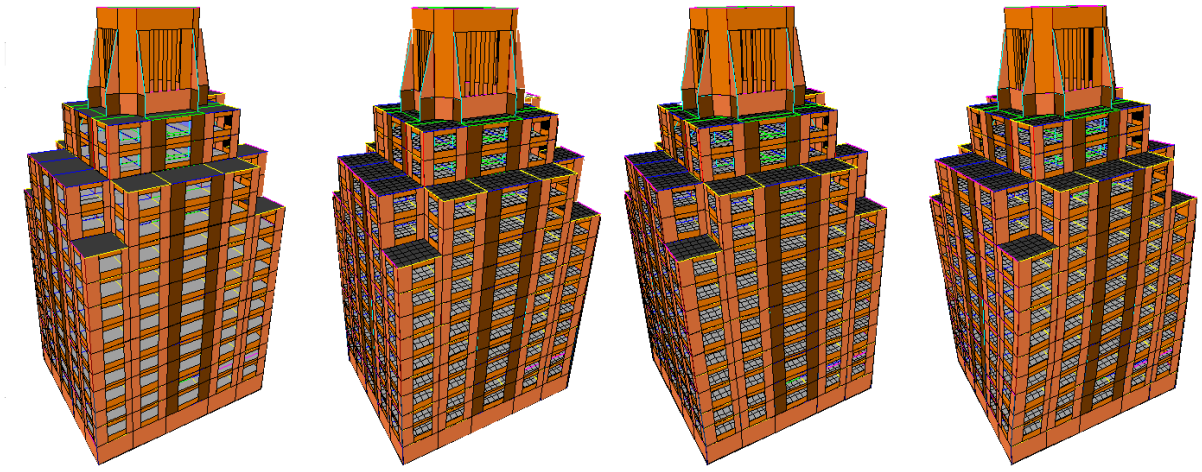


Figura IV.4 Primeros tres modos de vibrar de la estructura. OMG, 2013.

Estos valores resultaron bajos para un edificio típico de 13 pisos con marcos de concreto reforzado en los cuales se puede obtener un estimado del valor del periodo dividiendo el número de pisos entre 10, por lo que debería resultar un valor aproximado a 1 s. El valor de 0.52 s obtenido del análisis se puede explicar al considerar la participación que tienen los muros perimetrales de concreto en el comportamiento de la estructura en conjunto, los cuales le agregan gran rigidez al edificio, disminuyendo el valor de los desplazamientos, y por tanto, de los periodos.

3. Cortante Basal

El uso de un espectro de diseño para un análisis dinámico implica que las fuerzas sísmicas dependen del periodo de la estructura, en función del espectro correspondiente, con lo que para periodos largos, las fuerzas sísmicas irán siendo cada vez más pequeñas. El reglamento permite que el cortante basal sea cómo mínimo el siguiente valor:

$$0.8 \times a \times \frac{W_0}{Q'}$$

En este análisis se tiene que:

$$0.8 \times a \times \frac{W_0}{Q'} = 0.8 \times 0.2476 \times \frac{10{,}714.57 \text{ ton}}{1.6} = 1{,}326.46 \; tonf$$

Y del análisis realizado:

Tabla IV-3 Cortante Basal debido a las fuerzas sísmicas

Cortante en la base		
Condición de carga	Dirección X	Dirección Y
SDINX	**1,344.64**	**22.47**
SDINY	**22.47**	**1,524.00**

De la tabla se observa que el valor de los cortantes en la base es mayores que el mínimo permitido en ambas direcciones.

4. Estados límites de servicio

Esta parte de la revisión comprende el estudio de los estados límite a partir de los cuales se presenta una condición que impide el desarrollo adecuado de las funcionas a las que está destinada la construcción sin que por ello exista peligro de colapso.

Las figuras IV.1, IV.2 y IV.3 muestran tres configuraciones deformadas representativas que corresponden a las combinaciones CC14 y CC15, la primera correspondiente al 100 por ciento de las fuerzas debidas al sismo dinámico en la dirección *X* y 30% en la dirección *Y*; y la segunda que corresponde al 30% de las fuerzas de sismo dinámico en dirección *X* y 100 por ciento en dirección *Y*. Los desplazamientos son tan pequeños debido a la rigidez de los muros que se escalaron por un valor de 100. Observando las figuras se advierte que los desplazamientos mayores ocurren en la dirección *Y*, que es donde se tiene la longitud menor.

Las NTC-Edificaciones en su apartado 4 establece los criterios para determinar si se alcanza o no un estado límite de servicio en los aspectos siguientes:

a) Desplazamientos Verticales

Un primer criterio a revisar es el desplazamiento vertical al centro de trabes cuando se consideran los efectos a largo plazo. Este desplazamiento no debe ser mayor que el claro entre 250 más 5 mm.

$$\delta_{perm} = \frac{L}{240} + 5mm$$

La situación más desfavorable en el edificio se presenta en el centro donde se tiene un claro bastante grande. De los elementos mecánicos resulta que en esta sección, entre los ejes D, E, 3 y 4, en el primer piso se presentan los momentos mayores y por tanto, las deflexiones máximas.

Tabla IV-4 Deflexiones en la zona crítica.

Nivel	Línea	Longitud (m)	Deflexión Máxima permisible (cm)	Deflexión Máxima (cm)	$\delta_{max}/\delta_{maxperm}$
N03	B21	5.55	2.81	0.13	5%
N03	B36	2	1.33	0.021	2%
N03	B37	5.55	2.81	0.682	24%
N03	B38	1.3	1.04	0.687	66%
N03	B44	2	1.33	0.022	2%
N03	B45	5.55	2.81	0.683	24%
N03	B46	1.3	1.04	0.003	0%
N03	B61	5.55	2.81	0.274	10%
N03	B119	1.75	1.23	-0.058	-5%
N03	B123	1.75	1.23	-0.057	-5%
N03	B128	1.75	1.23	-0.055	-4%
N03	B132	1.75	1.23	-0.054	-4%
N03	B234	7.5	3.63	0.242	7%
N03	B236	7.5	3.63	0.49	14%
N03	B238	8.85	4.19	0.003	0%
N03	B240	8.85	4.19	0.716	17%
N03	B266	7.5	3.63	0.907	25%
N03	B267	7.5	3.63	0.983	27%

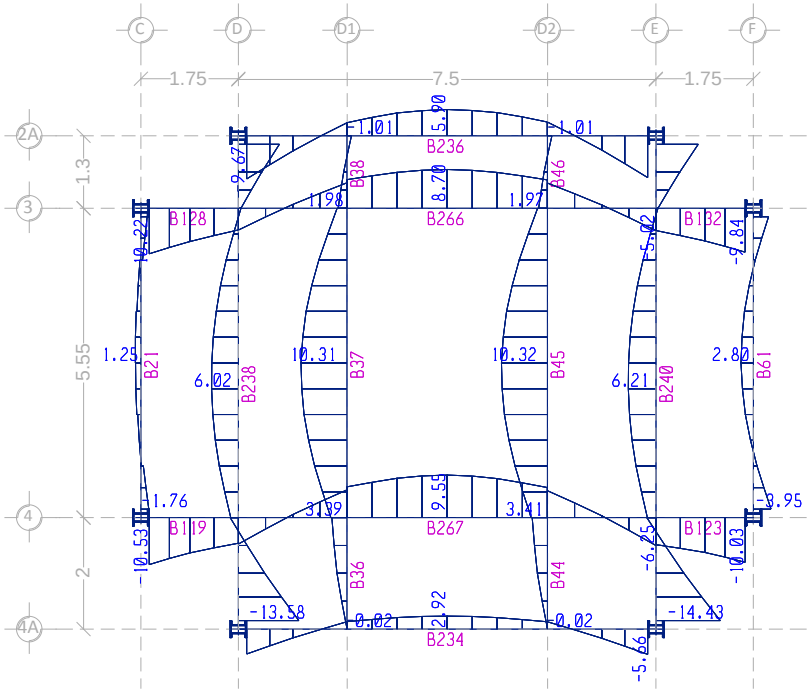


Figura IV.5 Planta de la zona crítica para revisión de deflexiones. OMG, 2013.

b) Distorsiones de entrepiso y desplazamientos laterales

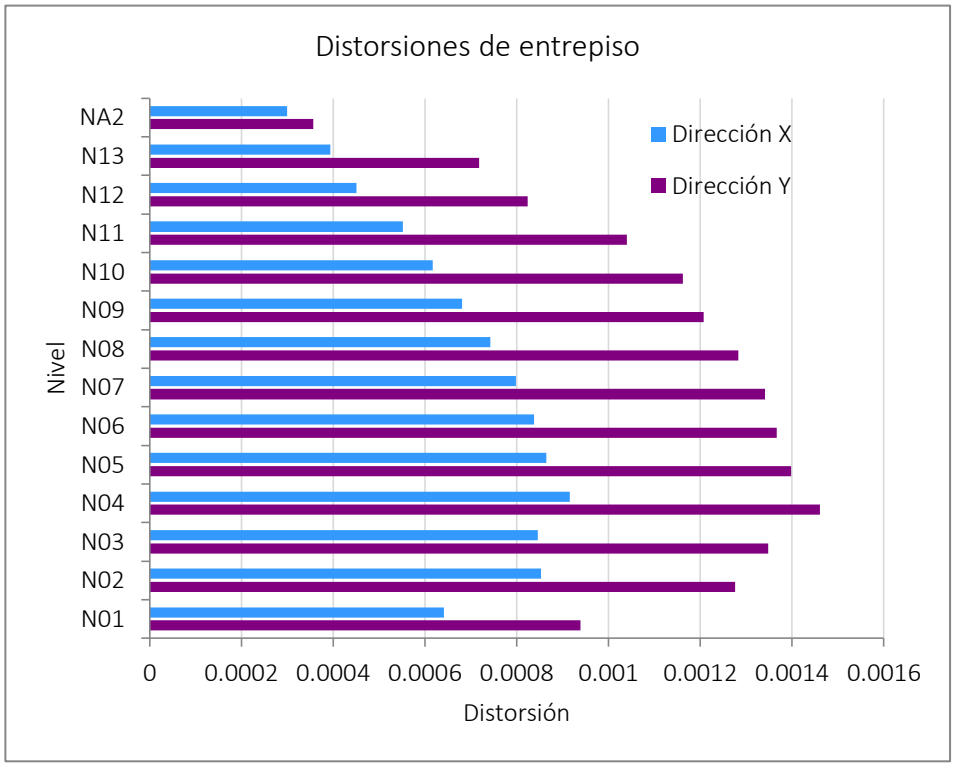
La distorsión de entrepiso es el desplazamiento horizontal relativo entre dos niveles sucesivos de la estructura. A este respecto, las NTC-S en su sección 1.8 establecen para esta revisión que este valor no excederá 0.006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes a los desplazamientos debidos a las fuerzas sísmicas reducidas multiplicadas por el factor de comportamiento sísmico Q.

Se debe multiplicar el factor de comportamiento sísmico pues los desplazamientos se obtienen con fuerzas de sismo reducidas entre Q', pero los desplazamientos que se presentarán en la estructura son de Q veces los obtenidos de esa forma.

En La Nacional, el entrepiso con menor altura es el del nivel 5, con 2.8 m, por lo que en este nivel se esperan las mayores distorsiones. La gráfica IV.1 muestra el valor de las distorsiones máximas de cada nivel.

Tabla IV-5 Distorsiones y desplazamientos para el diseño 1930.

Dirección	$\delta_{máx}$	$\delta_{máx\ perm}$	$\delta_{máx}/\delta_{máx\ perm}$	$\Delta_{máx}$
X	0.0009	0.012	0.08	3.31
Y	0.0015		0.12	5.37

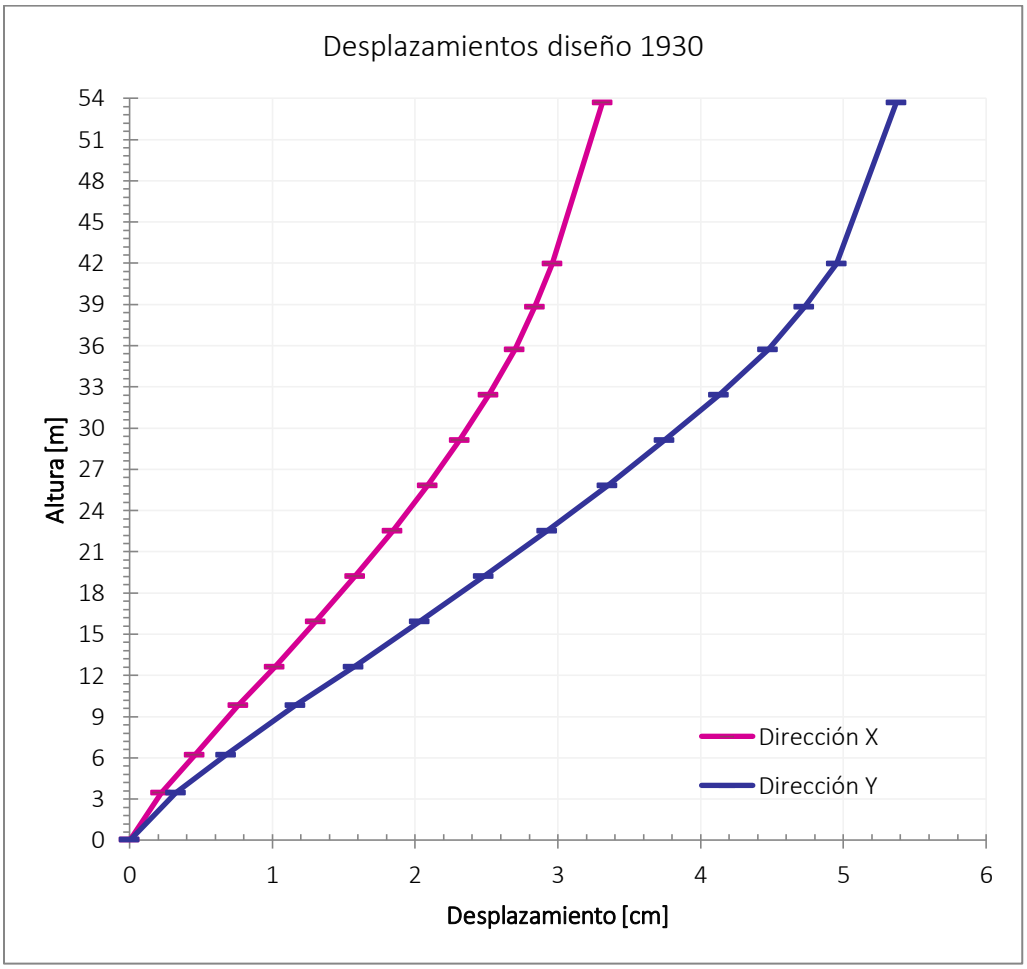


Gráfica IV-1 Distorsiones de entrepiso. OMG, 2013.

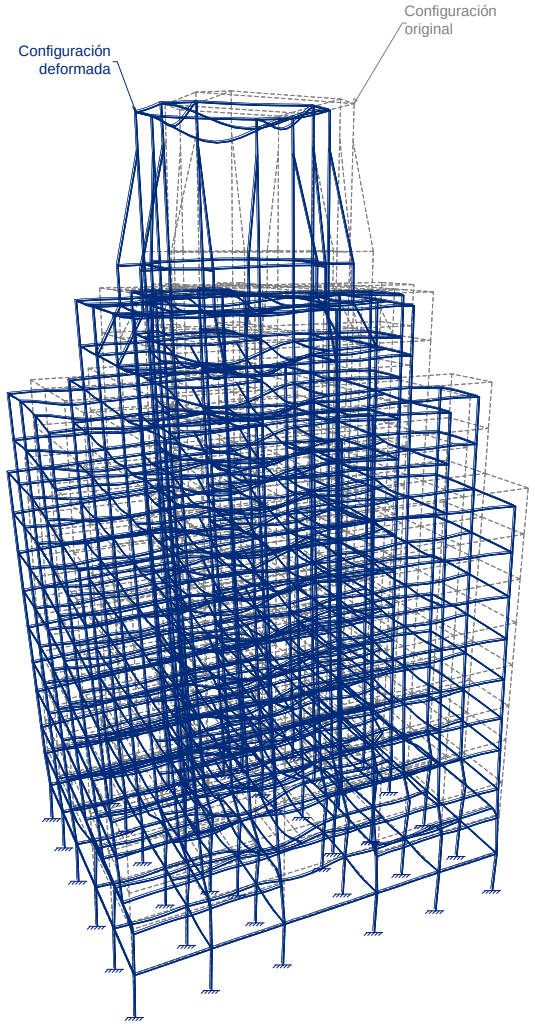
En la gráfica IV.1 podemos apreciar que, de acuerdo con lo esperado, las derivas máximas se encuentran en el nivel N4, y resultan ser del orden de ¼ de las máximas permitidas, lo cual también era de esperarse ya que, como se comentó, los muros que rodean a la estructura restringen en gran medida los desplazamientos de la misma.

Por su parte, en la gráfica IV.2 se muestran los desplazamientos máximos acumulados. Se observa que el desplazamiento máximo se presenta en la dirección Y, la cual es en la dimensión corta de la estructura, con un valor de 5.37 cm. El desplazamiento máximo en la dirección X es de 3.31 cm.

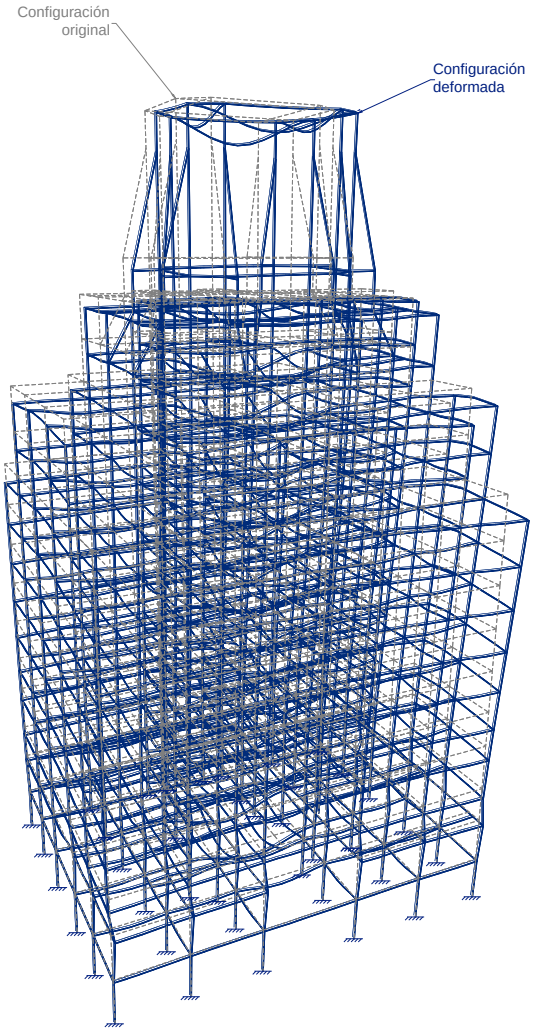
Con desplazamientos de esta magnitud no existe problema en cuanto a desplazamientos con estructuras aledañas.



Gráfica IV-2 Desplazamientos en ambas direcciones para el diseño de 1930.

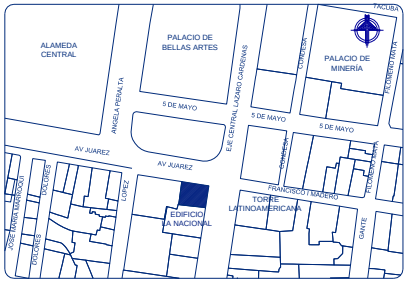


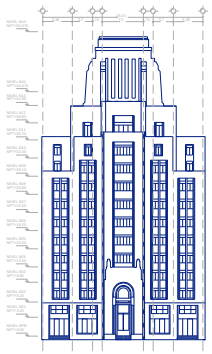
DEFORMADA CON COMBINACIÓN DE CARGA C-11



DEFORMADA CON COMBINACIÓN DE CARGA C-12

Fig. IV.6 ISOMÉTRICO DE DEFORMACIONES





ELEVACIÓN ESQUEMÁTICA

PARÁMETROS PARA DISEÑO SÍSMICO

NTC-Sismo

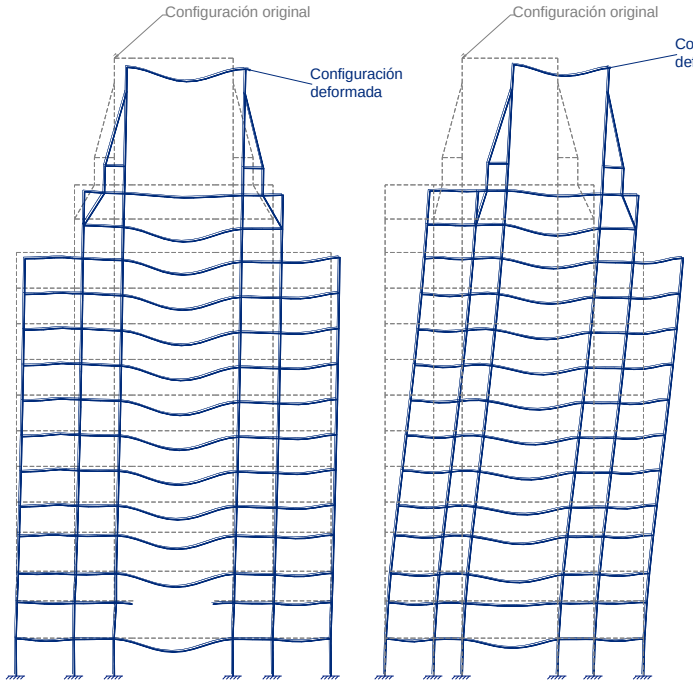
Zona sísmica	: Zona III-b
Clasificación	: Grupo B1
Coeficiente sísmico	c : 0.45
Ordenada para T = 0	a_0 : 0.11
Periodo característico	T_a : 0.85 s
Periodo característico	T_b : 3 s
Exponente de la ordenada	r : 2

NOTA: Las deformaciones son para las combinaciones de carga indicadas y han sido amplificadas x 100

Tesis Profesional

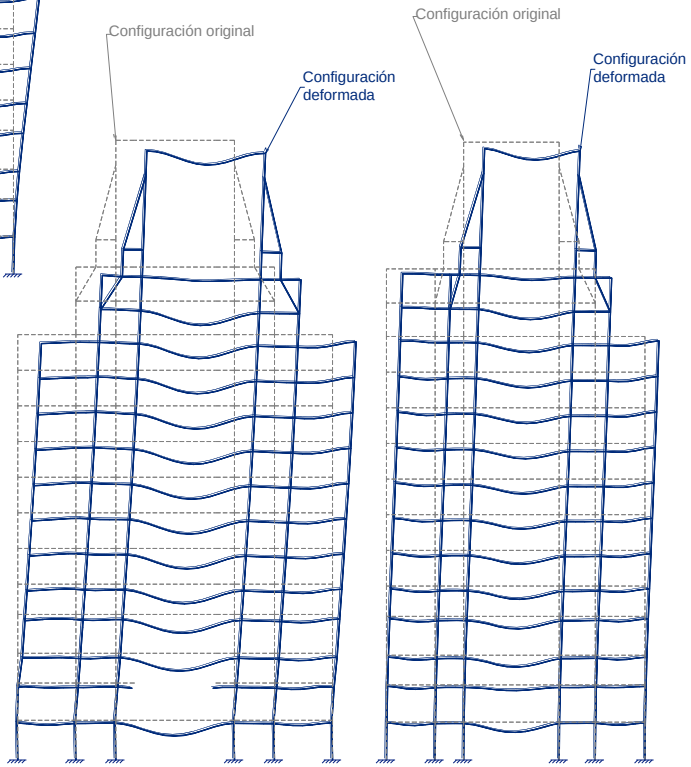
COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presentó:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Contenido: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Dibujó: JLTS/OMG	Archivo: LN-P	Escala: SIN	
Dibujo: DEFORMACIONES	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.6		



EJE 3 EJE D

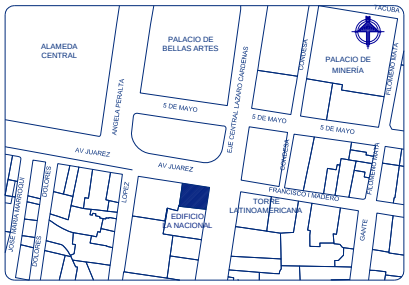
DEFORMADA CON COMBINACIÓN DE CARGA C-12

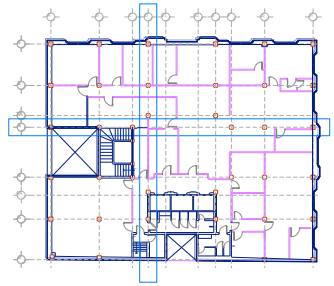


EJE 3 EJE D

DEFORMADA CON COMBINACIÓN DE CARGA C-11

Fig. IV.7 DEFORMACIONES EN EL EDIFICIO 'LA NACIONAL'





PLANTA ESQUEMÁTICA

PARÁMETROS PARA DISEÑO SÍSMICO

NTC-Sismo

Zona sísmica	: Zona III-b
Clasificación	: Grupo B1
Coeficiente sísmico	c : 0.45
Ordenada para T = 0	a_0 : 0.11
Periodo característico	T_a : 0.85 s
Periodo característico	T_b : 3 s
Exponente de la ordenada	r : 2

NOTA: Las deformaciones son para las combinaciones de carga indicadas y son amplificadas x 100

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta: OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Aprobó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.7	Escala: SIN
Dibujo: ELEVACIONES DEFORMADAS	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.7	

5. Estados límite de Falla

Para esta revisión, se tomaron como base los criterios establecidos en el reglamento del American Institute of Steel Construction (AISC) en su criterio de esfuerzos permisibles. (AISC-ASD-01). Este criterio hace una comparación entre esfuerzos actuantes y esfuerzos permisibles, estableciendo un factor de seguridad que, como su nombre lo indica, es una medida de la seguridad de la estructura. Las combinaciones usadas en este apartado fueron las CC21 a la CC29. La expresión utilizada para la revisión fue la siguiente:

$$\alpha = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x}{S_x} \pm \frac{M_y}{S_y}$$

Siendo

$$\alpha = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$$

Las figuras IV.4 a la IV.8 muestran de forma gráfica estos resultados, agrupando la relación entre esfuerzos de acuerdo al siguiente código de colores:

$$0.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.60$$

$$0.60 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.80$$

$$0.80 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.90$$

$$0.90 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 1.00$$

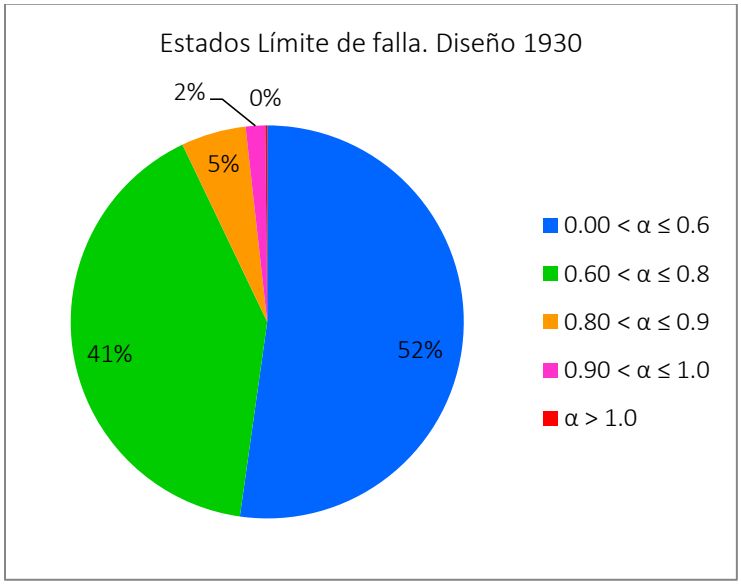
$$1.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$$

La tabla IV.6 muestra la cantidad de elementos analizados que caen dentro de cada intervalo de los antes definidos. Con los datos de la tabla se elaboraron las gráficas IV.3 y IV.4, la pirmera con los porcentajes de los elementos por cada intervalo y la segunda con los porcentajes por tipo de elemento: columnas, vigas y diagonales.

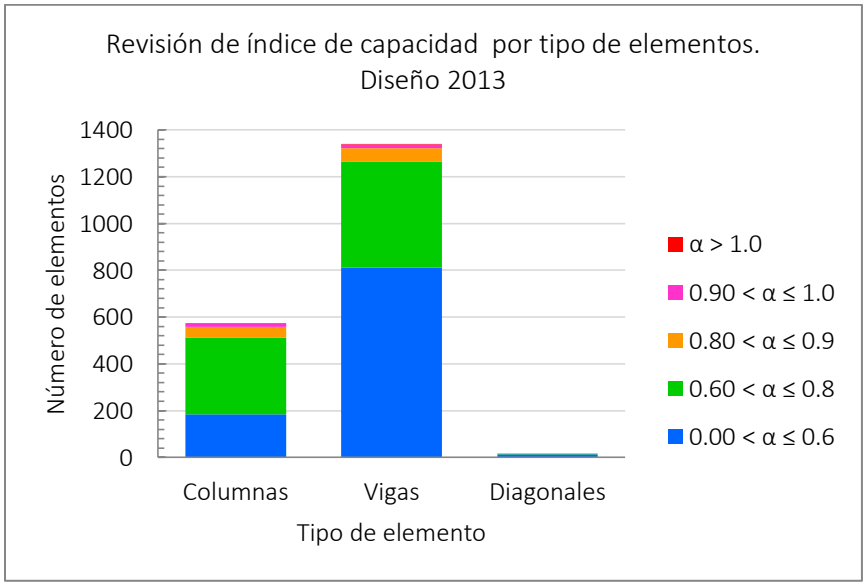
Se observa que existen 3 elementos en los que el índice de capacidad es mayor a 1.0: dos de las trabes del último nivel, y la columna N01A1. En las trabes, el índice de capacidad es 1.07 y 1.05, mientras que en la columna es de 1.02. El máximo de los valores no excede el 7% de la capacidad del elemento, por tanto puede considerarse aceptable.

Tabla IV-6 Estado Límite de falla. Diseño 1930.

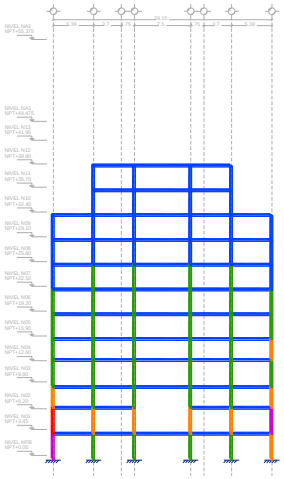
	Columnas	Vigas	Diagonales	Total
0.00 < α ≤ 0.6	183	812	13	1008
0.60 < α ≤ 0.8	330	453	2	785
0.80 < α ≤ 0.9	46	56	1	103
0.90 < α ≤ 1.0	13	18	0	31
α > 1.0	1	2	0	3
Σ	**573**	**1341**	**16**	**1930**



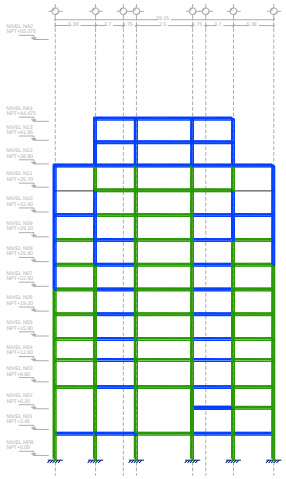
Gráfica IV-3. Porcentaje de elementos dentro de cada intervalo de estado límite de falla. Diseño 1930.



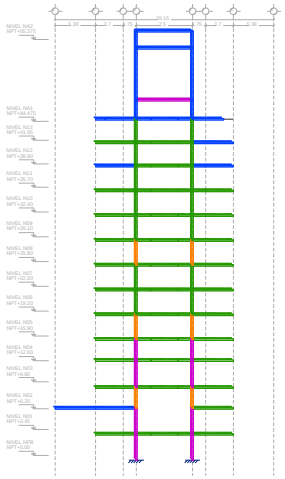
Gráfica IV-4 ELF por tipo de elemento. Diseño 2013.



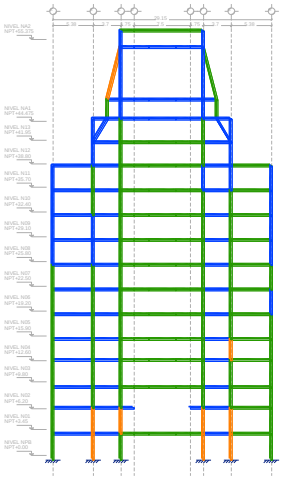
ELEVACIÓN EJE 1



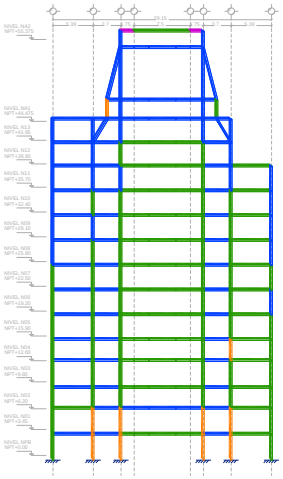
ELEVACIÓN EJE 2



ELEVACIÓN EJE 2A



ELEVACIÓN EJE 3



ELEVACIÓN EJE 4

Simbología

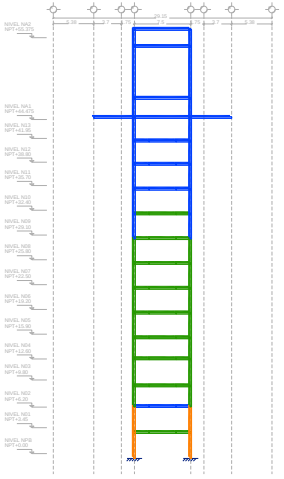
$0.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.60$

$0.60 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.80$

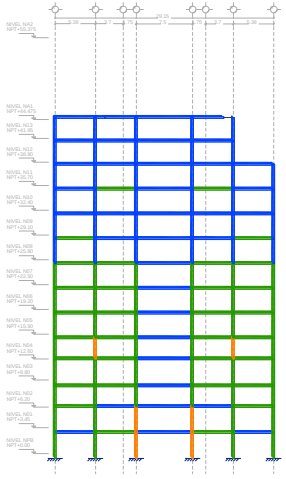
$0.80 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.90$

$0.90 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 1.05$

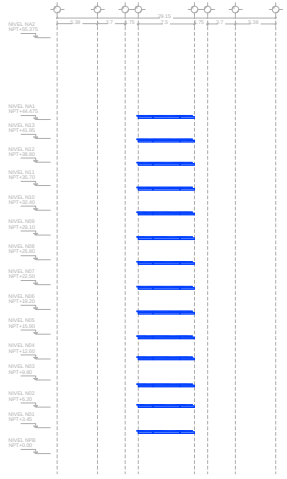
$1.05 > \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$



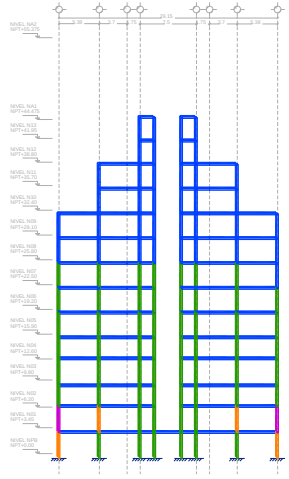
ELEVACIÓN EJE 4A



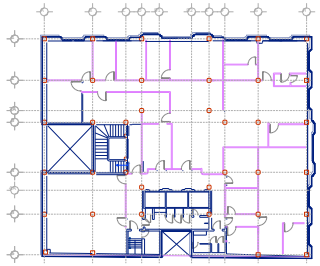
ELEVACIÓN EJE 5



ELEVACIÓN EJE 5A



ELEVACIÓN EJE 6



PLANTA ESQUEMÁTICA

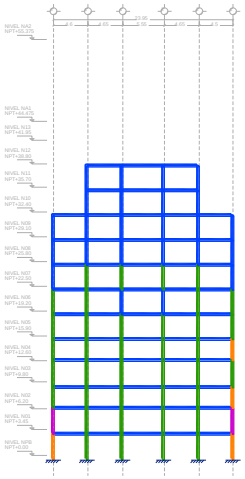
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

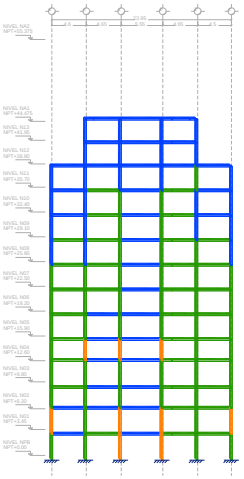
Presentó:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Contenido: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Archivo: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.8	Escala: SIN	
Título: REVISIÓN ESTADOS LÍMITE DE FALLA	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.8		

Fig. IV.8 REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA DISEÑO 1930

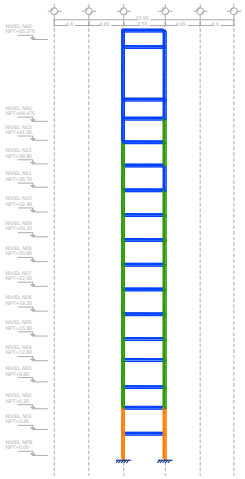
Figura IV.8 Revisión de estados límite de falla. 1930. OMG, 2013



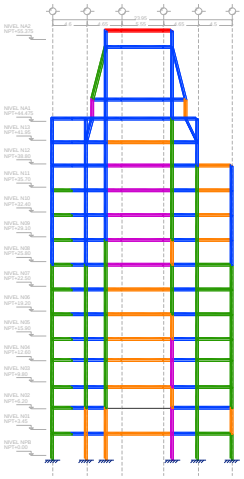
ELEVACIÓN EJE H



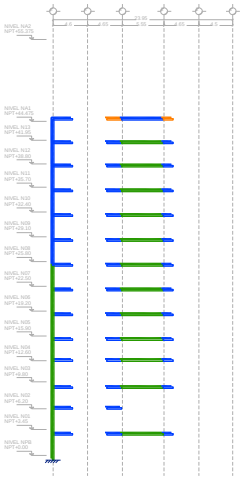
ELEVACIÓN EJE G



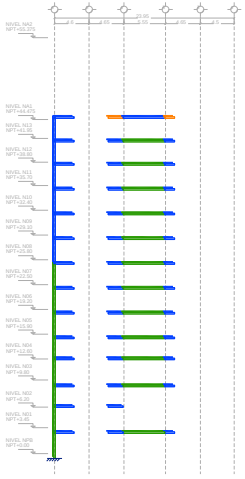
ELEVACIÓN EJE F



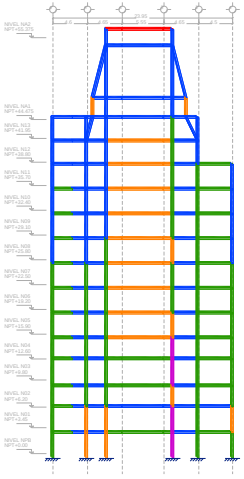
ELEVACIÓN EJE E



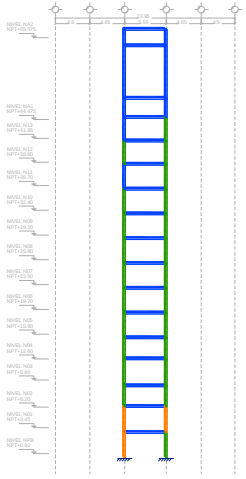
ELEVACIÓN EJE D2



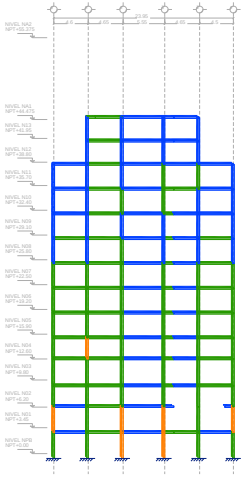
ELEVACIÓN EJE D1



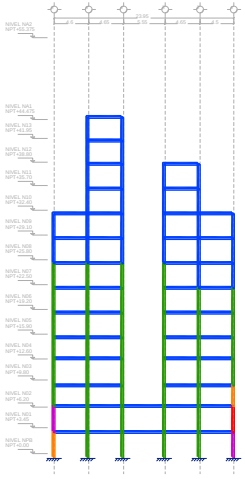
ELEVACIÓN EJE D



ELEVACIÓN EJE C



ELEVACIÓN EJE B



ELEVACIÓN EJE A

Simbología

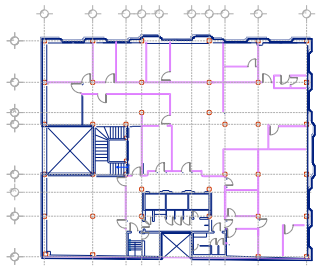
$0.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.60$

$0.60 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.80$

$0.80 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.90$

$0.90 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 1.05$

$1.05 > \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$



PLANTA ESQUEMÁTICA

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presentes: OSCAR MINOR GARCÍA				
Director de tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ				
Contenido: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Archivo: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.9	Escala: SIN	
Título: REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.9		

Fig. IV.9 REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA, DISEÑO 1930

Figura IV.9 Revisión de estados límite de falla, 1930. OMG, 2013.

B. Diseño estructural conforme las disposiciones vigentes de 2004

El reglamento de Construcciones para el Distrito Federal entró en vigor el 16 de febrero de 2004 y a partir de esa fecha, cualquier construcción dentro del Distrito Federal debe adaptarse a las disposiciones que ahí se mencionan. El criterio del reglamento es principalmente de Diseño por Estados Límite.

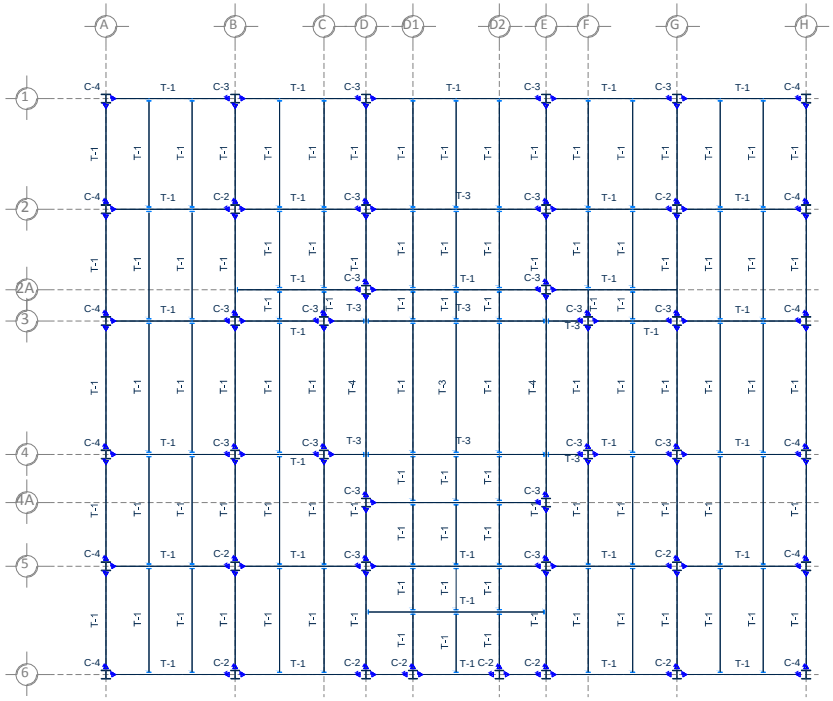
La estructura propuesta está formada por marcos rígidos en dos direcciones ortogonales formados por perfiles laminados IR estándar. Se respetó la posición de los ejes de trabes y columnas del edificio original. El sistema de piso se propone de lámina acanalada con firme de concreto de 5 cm de espesor, sistema comúnmente llamado *losacero,* apoyado sobre vigas secundarias de perfil IR espaciadas en promedio 2 m.

La fachada se propone con elementos de concreto prefabricados, desligados de la estructura principal pero con los cuales se puede dar el acabado arquitectónico del edificio. Se eligió este sistema ya que es la parte de la estructura que aporta gran cantidad de peso en la estructura original. En la actualidad se usan materiales ligeros como vidrio y aluminio para las fachadas de los edificios, sin embargo, para conservar la apariencia exterior del edificio, se optó por esta clase de fachada.

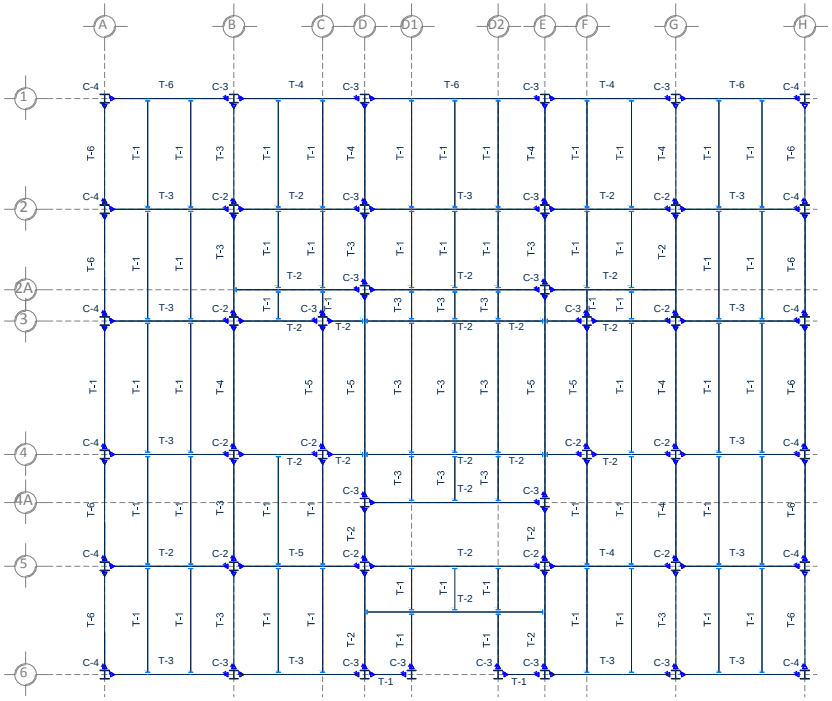
La rigidez lateral de la estructura es lograda por los marcos rígidos con apoyo de contravientos excéntricos, o en V invertida, localizados en los cuatro lados de la estructura para uniformizar la rigidez de los lados, así como en los ejes B y F, en la dirección global Y. El cubo de elevadores también tiene contribución a resistir los desplazamientos laterales. Conviene aclarar que no se realizó el diseño de estos contravientos.

Para las vigas interiores, el tamaño máximo que se utilizó fue de 18 pulgadas que son aproximadamente el tamaño de las trabes que se encuentran en la construcción original, para no hacer el edificio más alto o el entrepiso más pequeño. Por otro lado, el usar secciones de trabes de peraltes similares permite simplificar las conexiones. En los ejes exteriores, puesto que se tiene el recubrimiento de la fachada, se permitió usar secciones de mayor peralte. Las dimensión más grande de las columnas se limitó a 15 pulgadas.

Las figuras IV-10, IV-11 y IV-12 muestran los planos de trabes y columnas para el diseño de 2013. La figura IV-9 muestra a su vez, la localización y características de los contravientos propuestos en la estructura a fin de disminuir los desplazamientos laterales debidos a sismo.



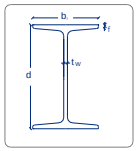
NIVEL PLANTA BAJA



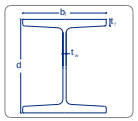
NIVELES N01, N02 Y N03

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TRABE	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
T-1	305	x	52.2	12	x	35	318	7.6	167	13.2	52.2	66.5	839	188
T-2	305	x	59.8	12	x	40	303	7.5	203	13.1	59.8	76.1	942	275
T-3	457	x	74.5	18	x	50	456.9	9.0	190.4	14.5	74.5	94.8	1655	272
T-4	457	x	105.3	18	x	71	469.1	12.6	193.9	20.6	105	134.2	2376	405
T-5	457	x	157.5	18	x	106	475.7	15.0	284.5	23.9	158	200.6	3769	991
T-6	533	x	196.5	21	x	132	554	16.5	316	26.3	196.5	250.3	5457	1349



COLUMNA	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
C-1	305	x	96.7	12	x	65	308	9.9	305	15.4	96.7	123.2	1586	723
C-2	305	x	129.7	12	x	87	318	13.1	308	20.6	129.7	165.2	2163	990
C-3	305	x	158	12	x	106	327	15.5	310	25.1	158	201.3	2687	1231
C-4	356	x	216.3	14	x	145	375	17.3	394	27.7	216	275.5	4261	2179



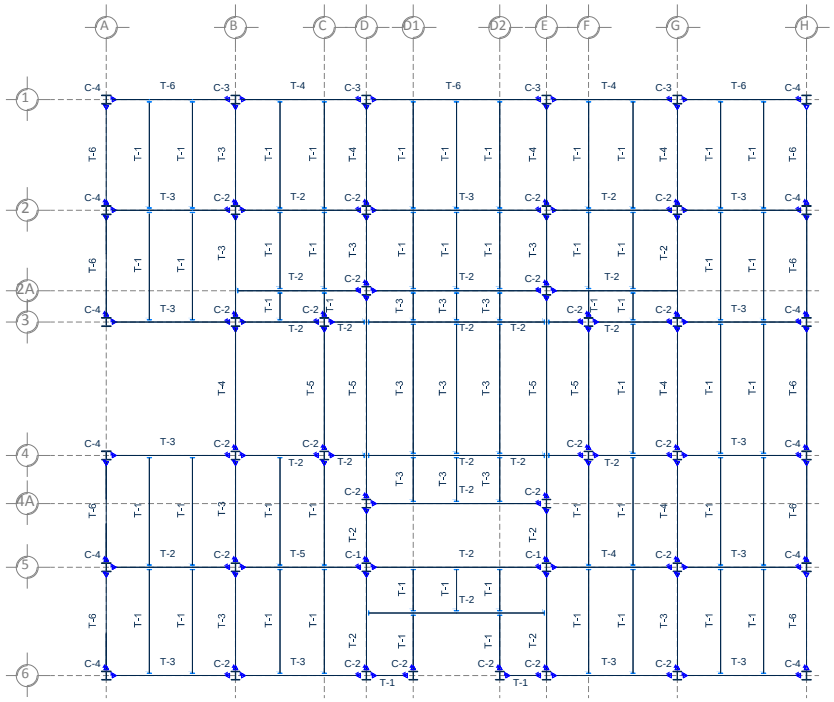
NOTA. En el nivel N02, la configuración las trabes del eje B entre los ejes 1-2; y 2-2A, las del eje 2 entre los ejes A-B; y B-C, así como las de los ejes 1 a 3 entre los ejes D a E, se cortan para dejar paso a los vacíos que ahí existen. Ver planta de nivel.

Tesis Profesional

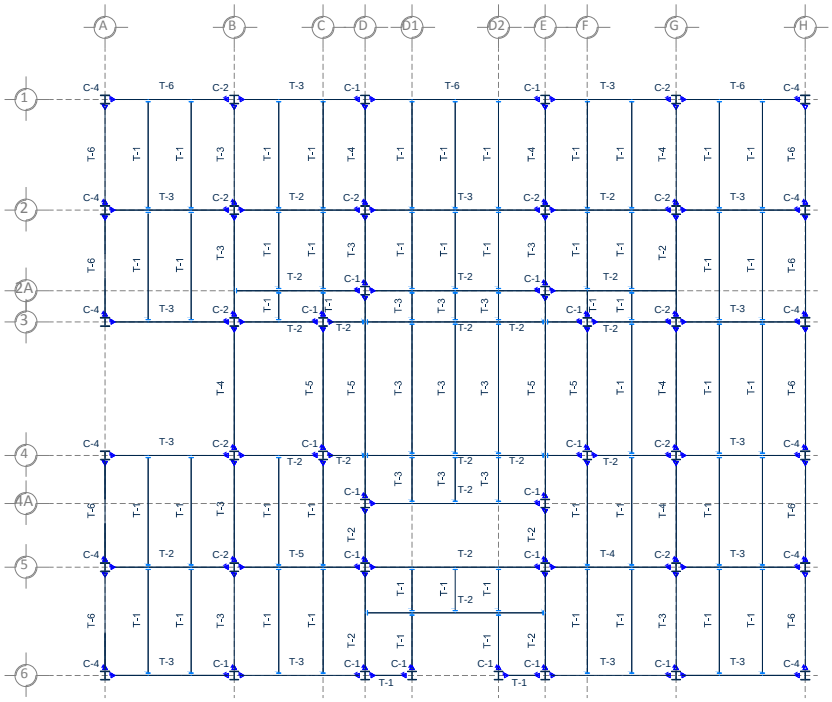
COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Dibujó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.10	Escala: SIN	
Título: TRABES Y COLUMNAS, 2013	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.10		

Fig. IV.10 PLANO DE TRABES Y COLUMNAS DISEÑO 2013



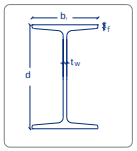
NIVELES N04, N05, y N06



NIVELES N07, N08 y N09

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TRABE	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
T-1	305	x	52.2	12	x	35	318	7.6	167	13.2	52.2	66.5	839	188
T-2	305	x	59.8	12	x	40	303	7.5	203	13.1	59.8	76.1	942	275
T-3	457	x	74.5	18	x	50	456.9	9.0	190.4	14.5	74.5	94.8	1655	272
T-4	457	x	105.3	18	x	71	469.1	12.6	193.9	20.6	105	134.2	2376	405
T-5	457	x	157.5	18	x	106	475.7	15.0	284.5	23.9	158	200.6	3769	991
T-6	533	x	196.5	21	x	132	554	16.5	316	26.3	196.5	250.3	5457	1349



COLUMNA	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
C-1	305	x	96.7	12	x	65	308	9.9	305	15.4	96.7	123.2	1586	723
C-2	305	x	129.7	12	x	87	318	13.1	308	20.6	129.7	165.2	2163	990
C-3	305	x	158	12	x	106	327	15.5	310	25.1	158	201.3	2687	1231
C-4	356	x	216.3	14	x	145	375	17.3	394	27.7	216	275.5	4261	2179

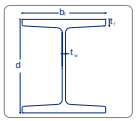


Fig. IV.11 PLANO DE TRABES Y COLUMNAS DISEÑO 2013

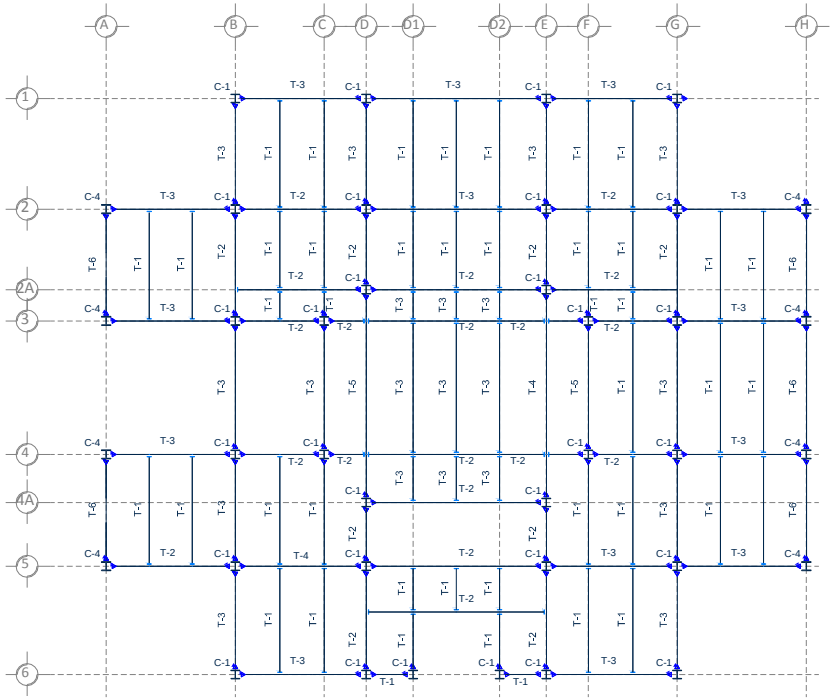
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

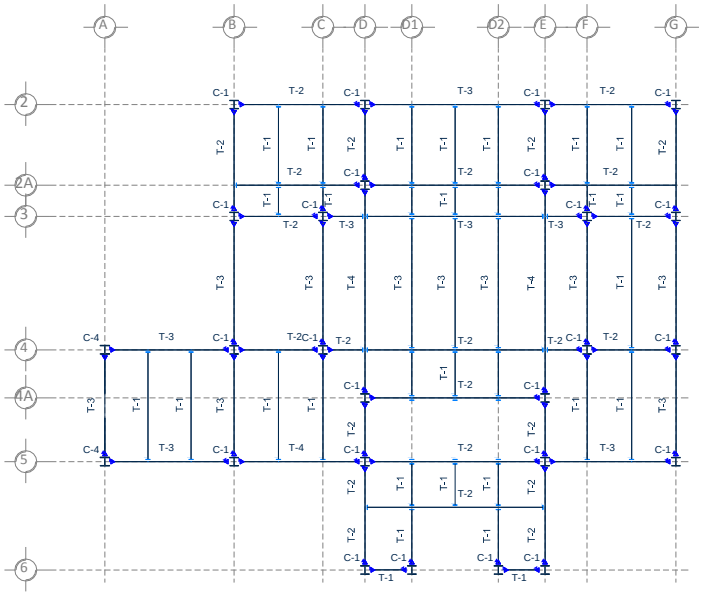
Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Concepto:	Clave:	Archivo:	Escala:
DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	JLTS/OMG	LN_CIV.11	SIN

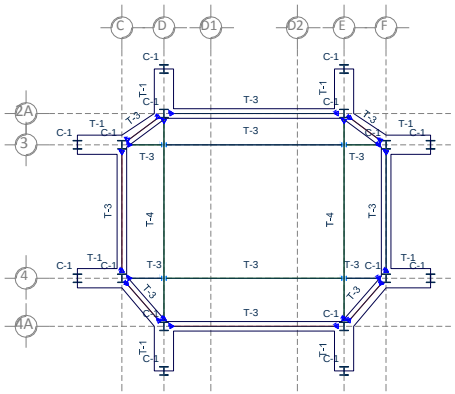
Título:	Fecha:	Figura:
TRABES Y COLUMNAS, 2013	17/08/13	IV.11



NIVELES N10 y N11



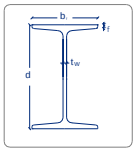
NIVELES N12 y N13



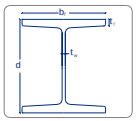
NIVELES A1 y A2

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TRABE	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
T-1	305	x	52.2	12	x	35	318	7.6	167	13.2	52.2	66.5	839	188
T-2	305	x	59.8	12	x	40	303	7.5	203	13.1	59.8	76.1	942	275
T-3	457	x	74.5	18	x	50	456.9	9.0	190.4	14.5	74.5	94.8	1655	272
T-4	457	x	105.3	18	x	71	469.1	12.6	193.9	20.6	105	134.2	2376	405
T-5	457	x	157.5	18	x	106	475.7	15.0	284.5	23.9	158	200.6	3769	991
T-6	533	x	196.5	21	x	132	554	16.5	316	26.3	196.5	250.3	5457	1349



COLUMNA	Designación d x peso						Peralte	Alma	Patin		Peso	Area	Módulo de sección plástico	
							d	tw	bf	tf			Zx	Zy
	mm*	x	kg/m	in.	x	lb/ft	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm2	cm3	cm3
C-1	305	x	96.7	12	x	65	308	9.9	305	15.4	96.7	123.2	1586	723
C-2	305	x	129.7	12	x	87	318	13.1	308	20.6	129.7	165.2	2163	990
C-3	305	x	158	12	x	106	327	15.5	310	25.1	158	201.3	2687	1231
C-4	356	x	216.3	14	x	145	375	17.3	394	27.7	216	275.5	4261	2179



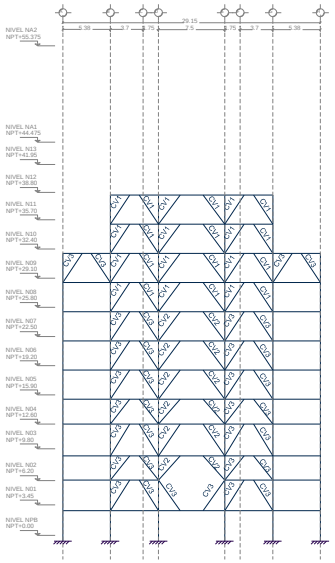
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

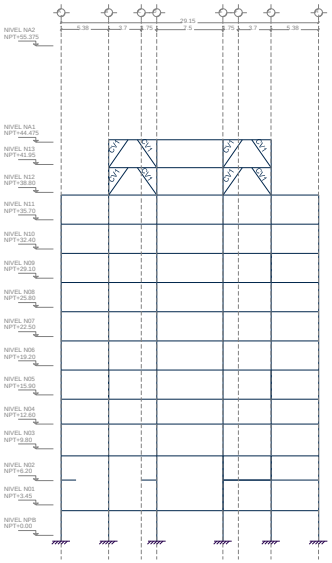
Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

Concepto	Código	Archivo	Escala
DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	JLTS/OMG	LN_CIV.12	SIN
Dibujo: TRABES Y COLUMNAS, 2013	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.12	

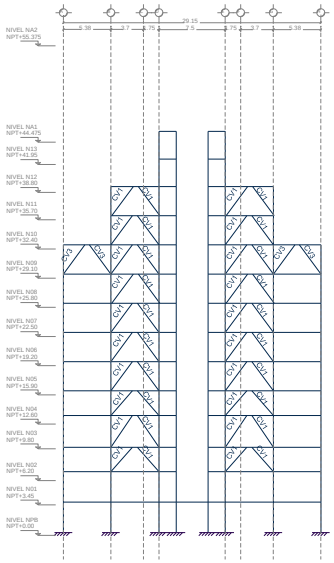
Fig. IV.12 PLANO DE TRABES Y COLUMNAS DISEÑO 2013



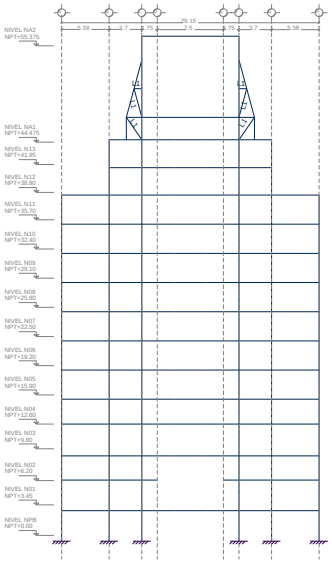
ELEVACIÓN EJE 1



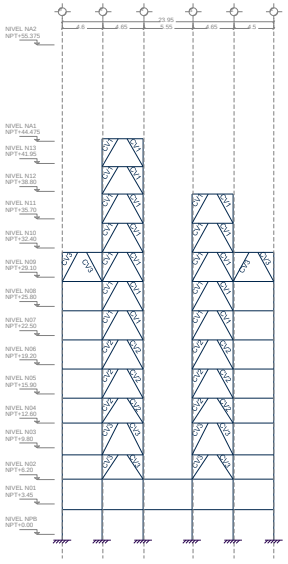
ELEVACIÓN EJE 2



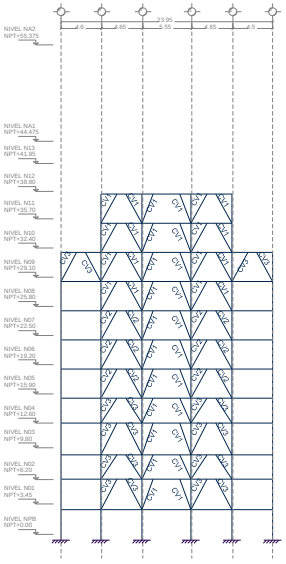
ELEVACIÓN EJE 6



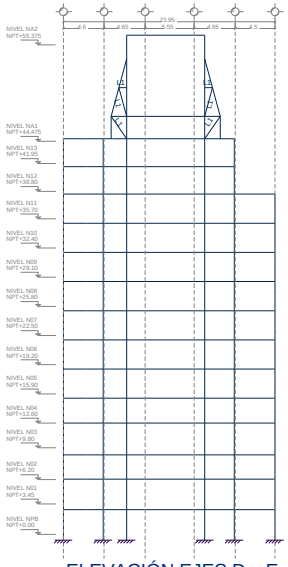
ELEVACIÓN EJE 3 Y 4



ELEVACIÓN EJE H



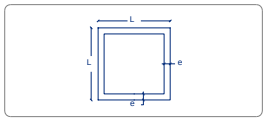
ELEVACIÓN EJE A

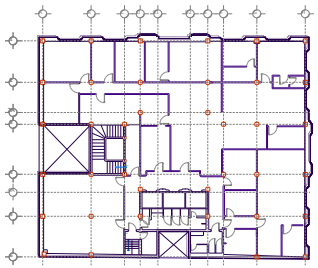


ELEVACIÓN EJES D y E

TABLA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

ELEMENTO	Designación L x espesor						Area
	mm	x	mm	in.	x	in	cm2
CV1	152.4	x	12.7	6	x	1/2	71
CV2	152.4	x	15.9	6	x	5/8	87
CV3	152.4	x	2.54	6	x	1	129
L1	76.2	x	12.7	3	x	1/2	32





PLANTA ESQUEMÁTICA

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Dibujó: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.13	Escala: SIN	
Título: UBICACIÓN DE CONTRAVIENTOS	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.13		

Fig. IV.13 ELEVACIONES: UBICACIÓN DE CONTRAVIENTOS. DISEÑO 2013

1. Peso Total

Para el diseño 2013, se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla IV-7 Peso Propio 2013

Peso Propio		
Carga Muerta =	3,609.58	tonf
Carga Viva Máxima =	2,012.40	tonf
Sobrecarga Muerta =	1,521.06	tonf
Peso Propio (CM + CVMAX + SCM) =	**7,143.04**	tonf
Relación CV/CM =	39.22%	

Respecto a este resultado, no se tiene valor con qué comparar ya que es un diseño nuevo. Sin embargo y como era de esperarse, este diseño resultó menos pesado que el de 1930.

2. Modos de vibrar

Para el modelo de 2013, se obtuvieron los siguientes periodos, de los cuales, de nuevo, los primeros tres son los más importantes.

Tabla IV-8 Periodos y participación modal para La Nacional, diseño 2013.

Modo	Periodo		% Masa en X	% Masa en Y	% Masa en X acum	% Masa en Y acum
T_1	0.9690	s	1.4	59.8	1.4	59.8
T_2	0.8593	s	56.8	0.8	58.2	60.5
T_3	0.5728	s	2.2	0.3	60.4	60.9
T_4	0.3524	s	3.3	0.8	63.7	61.7
T_5	0.3340	s	0.0	9.8	63.8	71.5
T_6	0.2715	s	5.9	0.0	69.7	71.5
T_7	0.2299	s	0.0	3.3	69.7	74.8
T_8	0.1997	s	2.8	0.0	72.5	74.9
T_9	0.1778	s	0.1	1.2	72.6	76.0
T_{10}	0.1722	s	5.3	0.0	77.8	76.1
T_{11}	0.1564	s	0.0	4.4	77.8	80.5
T_{12}	0.1481	s	0.0	0.0	77.9	80.5
T_{13}	0.1405	s	0.0	0.0	77.9	80.6
T_{14}	0.1245	s	1.5	0.0	79.3	80.6
T_{15}	0.1037	s	0.2	2.3	79.6	82.9
T_{16}	0.0961	s	2.4	1.2	82.0	84.0
T_{17}	0.0956	s	0.0	0.0	82.0	84.1
T_{18}	0.0950	s	0.2	0.0	82.2	84.1
T_{19}	0.0943	s	0.0	0.0	82.2	84.1
T_{20}	0.0941	s	0.0	0.0	82.3	84.1
T_{21}	0.0940	s	0.1	0.1	82.3	84.2
T_{22}	0.0932	s	0.0	0.0	82.4	84.2
T_{23}	0.0896	s	1.1	0.3	83.5	84.5
T_{24}	0.0895	s	0.1	0.0	83.6	84.6

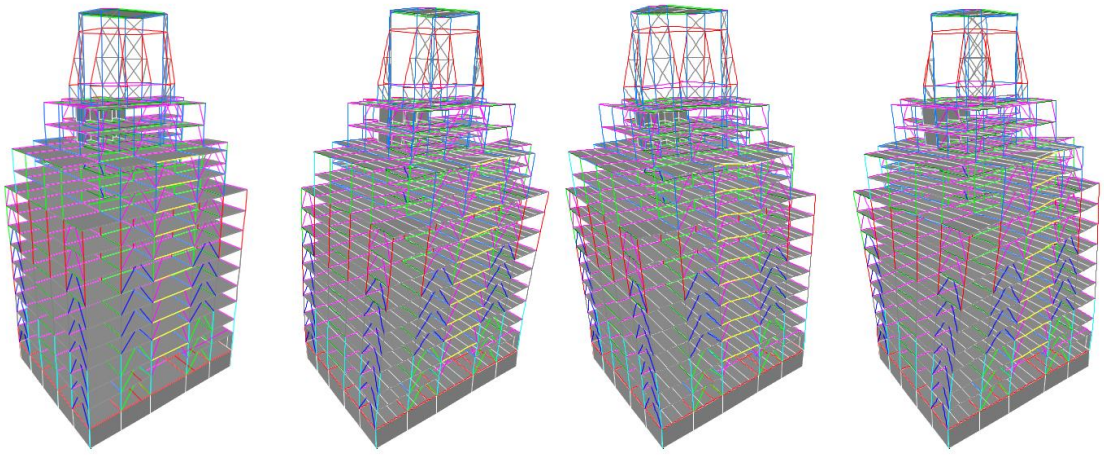


Figura IV.14 Modos de vibrar y periodos para el diseño de 2013 de La Nacional.

Estos valores son más cercanos al valor de 1 s, lo que se esperaría para un edificio de acero de estas características.

3. Cortante Basal

Revisando la restricción del reglamento sobre el cortante basal para ambos periodos (dirección *X* y dirección *Y*) les concierne el mismo valor de *a*= 0.45 g, correspondiente a la meseta del espectro de diseño. Entonces se tiene:

$$0.8 \times a \times \frac{W_0}{Q'} = 0.8 \times 0.45 \times \frac{6637.9 \text{ tonf}}{1.6} = 1{,}493.8\ tonf$$

Y del análisis realizado

Cortante en la base		
Condición de carga	Dirección X	Dirección Y
SDINX	**1490.66**	311.50
SDINY	309.40	**1502.61**

En este caso se tuvo que escalar el valor de las fuerzas sísmicas de forma que se cumpliera la condición.

4. Estados límite de servicio

El programa de cómputo realiza esta revisión pero lo hace para un código diferente aunque los resultados son similares pues hay cierto grado de compatibilidad entre los reglamentos. En este caso tenemos criterios diferentes que en el diseño de 1930 porque los muros de fachada se han desligado así que no se cuenta con esa rigidez en las vigas perimetrales, por lo que las secciones críticas no sólo son las de la sección central sino que se les unen dichas vigas perimetrales.

a) Desplazamientos Verticales

Se revisa a continuación un nivel tipo, ya que las cargas que toman las vigas son similares en los diversos niveles. De nuevo, para esta revisión se utiliza la siguiente expresión:

$$\delta_{perm} = \frac{L}{240} + 5mm$$

Los valores presentes en la tabla IV-7 son para los elementos mostrados en la figura IV-7.

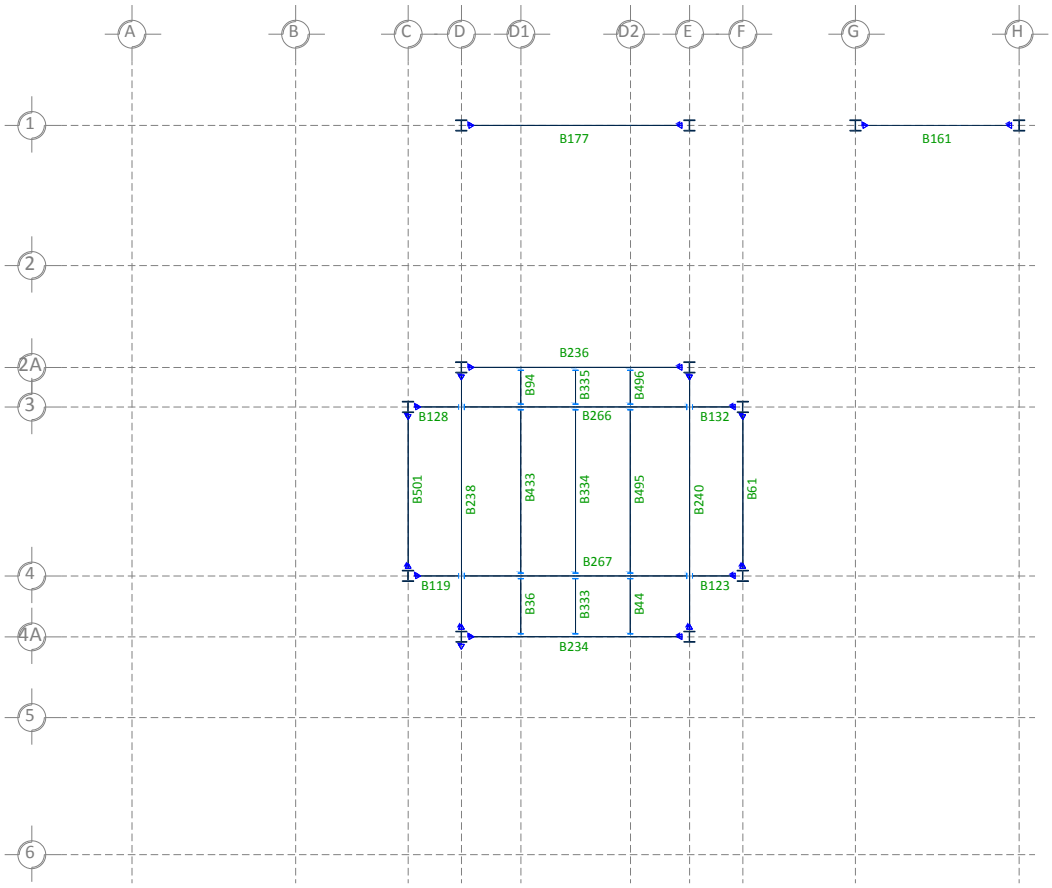


Figura IV.15 Elementos revisados por estado límite de servicio.

Tabla IV-9 Revisión de elementos a flexión por estado límite de servicio

Nivel	Línea	Longitud (m)	Deflexión Máxima permisible (cm)	Deflexión Máxima Relativa (cm)	Deflexión Máxima Absoluta (cm)	$\delta_{max}/\delta_{maxperm}$
N04	B36	2	1.33	0.003	0.871	0.65
N04	B44	2	1.33	0.003	0.864	0.65
N04	B61	5.55	2.81	0.030	0.54	0.19
N04	B119	1.75	1.23	-0.031	0.479	0.39
N04	B123	1.75	1.23	-0.032	0.466	0.38
N04	B128	1.75	1.23	-0.039	0.836	0.68
N04	B132	1.75	1.23	-0.041	0.82	0.67
N04	B234	7.5	3.63	-0.009	0.197	0.05
N04	B236	7.5	3.63	0.530	1.296	0.36
N04	B238	8.85	4.19	0.310	0.863	0.21
N04	B240	8.85	4.19	0.296	0.842	0.20
N04	B266	7.5	3.63	0.761	1.589	0.44
N04	B267	7.5	3.63	0.581	1.054	0.29
N04	B333	2	1.33	0.003	1.054	0.79
N04	B334	5.55	2.81	0.202	1.602	0.57
N04	B335	1.3	1.04	0.000	1.589	1.53
N04	B493	5.55	2.81	0.21	1.39	0.50
N04	B494	1.3	1.04	0.00	1.37	1.32
N04	B495	5.55	2.81	0.21	1.386	0.49
N04	B496	1.3	1.04	0.005	1.362	1.31
N04	B501	5.55	2.81	0.047	0.557	0.20
N04	B177	7.5	3.63	-0.044	0.36	0.10
N04	B161	5.38	2.74	0.049	0.361	0.13

En general, las deflexiones presentes en el edificio son de valores inferiores a los máximos permitidos, esto debido a que en esa región central, donde se tienen los claros mayores, se procuró emplear vigas peraltadas.

En la tabla IV-7, hay tres vigas que tienen una relación entre deflexión máxima absoluta y deflexión máxima permitida mayor que 1.00. Aquí se conjugan dos factores que derivan en esa situación: las vigas son pequeñas, de 1.30 m, por lo que el límite permisible es menor, pero la deflexión no es al centro de las vigas, sino en un extremo, donde intersecan con la viga 266 de 7.50 m, para la que esa deflexión se presenta aproximadamente al centro y es de valor menor que la permisible. El reglamento no es muy claro a este respecto pues indica como estado límite de servicio el desplazamiento vertical al centro del claro o el doble en caso de voladizos, por tanto, los resultados de deflexiones se consideran aceptables.

La configuración del edificio contribuye a mantener los valores de las deflexiones menores que las máximas, pues los ejes forman una malla con cuadrículas muy pequeñas en cuyas esquinas hay columnas, lo que hace que las vigas tengan claros pequeños con áreas tributarias menores, disminuyendo el valor de la carga que toma cada una de ellas. El claro más grande es entre los ejes 2A y 4A, separados por una longitud de 8.85 m para los que la deflexión máxima resulta 0.86 cm, le siguen en longitud las vigas entre

los ejes D y E, con 7.5 cm de longitud para las que la deflexión máxima es de 1.60 cm valores por debajo de los máximos.

Cuando se emplea construcción compuesta como en el sistema de piso Losacero, se deben analizar las deflexiones en las diferentes etapas de construcción y cuando la sección trabaje en conjunto. Las vigas deben soportar el peso producido durante las maniobras para el montaje de la lámina, colocación de conectores (studs) y el colado del concreto fresco en la etapa de construcción. Una vez que el concreto ha alcanzado su resistencia, le ayudará a la viga a resistir las cargas de servicio normales durante la vida útil, las cuales provocan deflexiones adicionales, así como también el flujo plástico del concreto provocará unas deflexiones más. Por lo anterior, debe revisarse que los desplazamientos en la etapa de construcción no sean grandes, porque el concreto fraguará con esas deformaciones iniciales y se le sumarán las de servicio. En caso de que esas deflexiones sean importantes, será necesario evaluar el uso de apuntalamiento de la sección durante la etapa de construcción. En este trabajo, este análisis no se realizó.

b) Distorsiones de entrepiso y desplazamientos laterales.

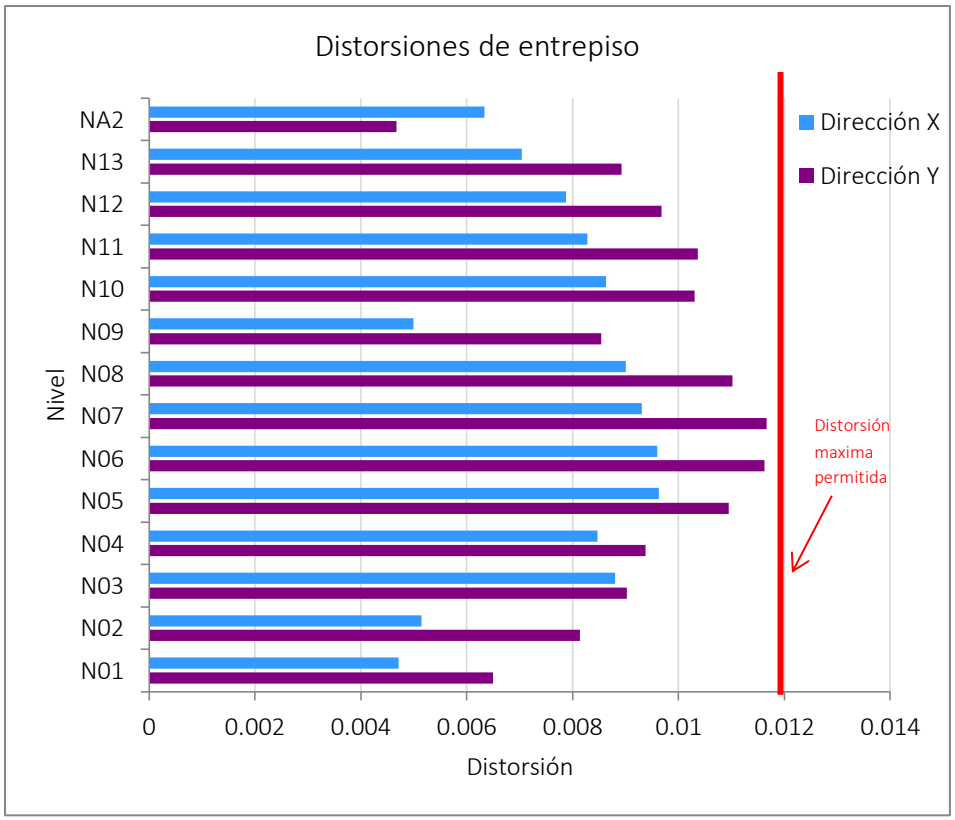
La gráfica IV.3 muestra los valores de las derivas de entrepiso para el diseño de 2013. Se presenta una situación similar a la del diseño de 1930, donde los desplazamientos mayores se presentan en el eje Y, dirección cuya dimensión es menor. Los contravientos ayudan a la estructura a disminuir los desplazamientos, lo cual se puede observar en el valor de las distorsiones del nivel N09, donde disminuyen considerablemente pues ahí se colocaron en todo el perímetro por razones que se mencionarán posteriormente.

De la tabla IV.9, se observa que los valores de las distorsiones están debajo de la máxima permisible, aunque en la dirección Y está muy cercano a ese valor.

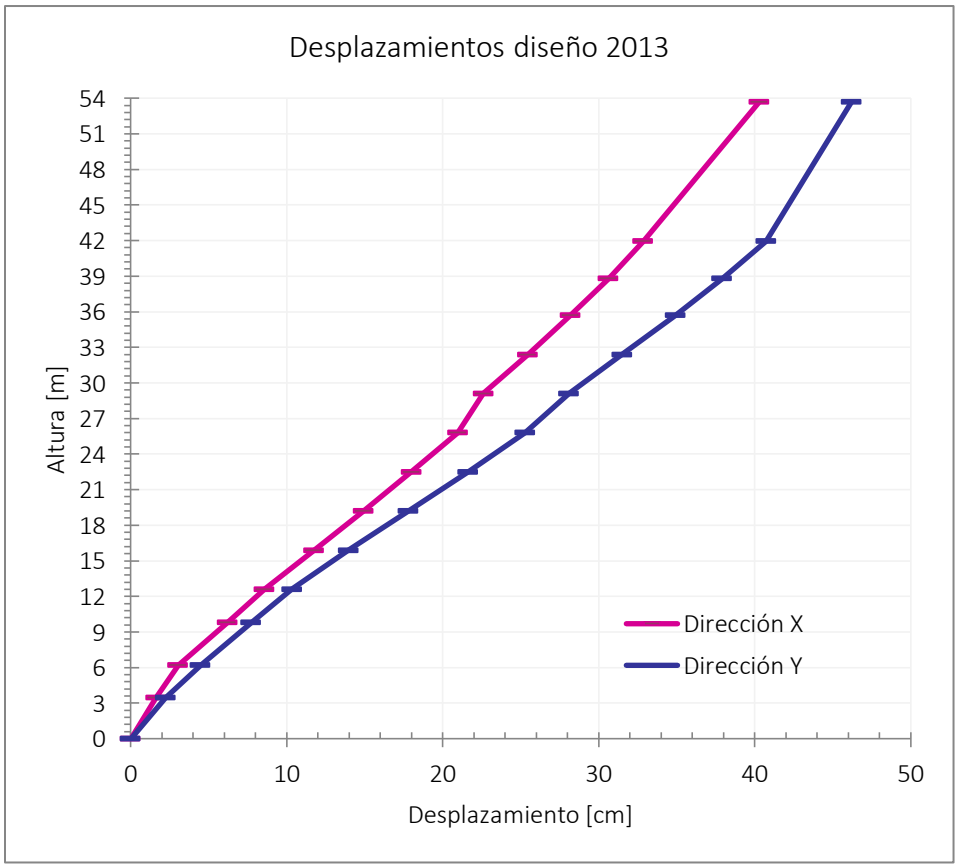
Tabla IV-10 Distorsiones y desplazamientos para el diseño 1930.

Dirección	$\delta_{máx}$	$\delta_{máx\ perm}$	$\delta_{máx}/\delta_{máx\ perm}$	$\Delta_{máx}$
X	0.0096	0.012	0.80	40.29
Y	0.0117		0.97	46.21

A su vez, en la gráfica IV.3 se muestran los desplazamientos máximos acumulados en todos los niveles. Se observa que el desplazamiento máximo se presenta en la dirección Y, con un valor de 46.2 cm. El desplazamiento máximo en la dirección X es de 40.30 cm.



Gráfica IV-6 Distorsiones de entrepiso diseño 2013.



Gráfica IV-6 Desplazamientos para el diseño 2013.

5. Estados límite de falla

De forma similar a como se procedió en la revisión de estados límite de falla para el diseño de 1930, para esta revisión, se tomaron como base los criterios establecidos en el reglamento del *American Institute of Steel Construction* (AISC) en su criterio de esfuerzos permisibles. (AISC-ASD-01). Las combinaciones usadas en este apartado fueron las CC21 a la CC29. La expresión utilizada para la revisión fue la siguiente:

$$\alpha = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x}{S_x} \pm \frac{M_y}{S_y}$$

Siendo

$$\alpha = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$$

Las figuras IV.16 y IV.17 muestran de forma gráfica estos resultados, agrupando la relación entre esfuerzos de acuerdo al siguiente código de colores:

$0.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.60$

$0.60 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.80$

$0.80 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 0.90$

$0.90 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} \leq 1.00$

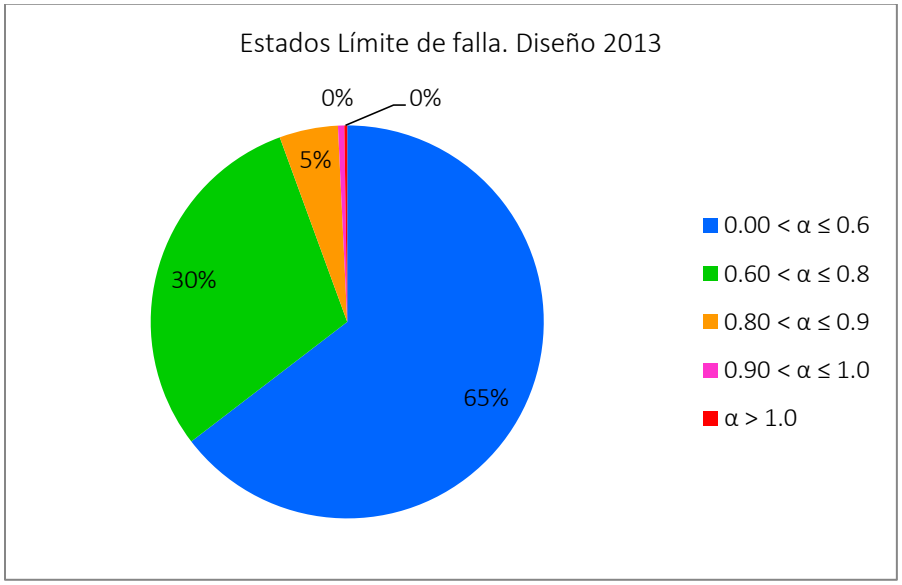
$1.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$

La tabla IV.11 muestra la cantidad de elementos analizados que caen dentro de cada intervalo de los antes definidos. Con los datos de la tabla se elaboraron las gráficas IV.3 y IV.4, la pirmera con los porcentajes de los elementos por cada intervalo y la segunda con los porcentajes por tipo de elemento: columnas, vigas y diagonales.

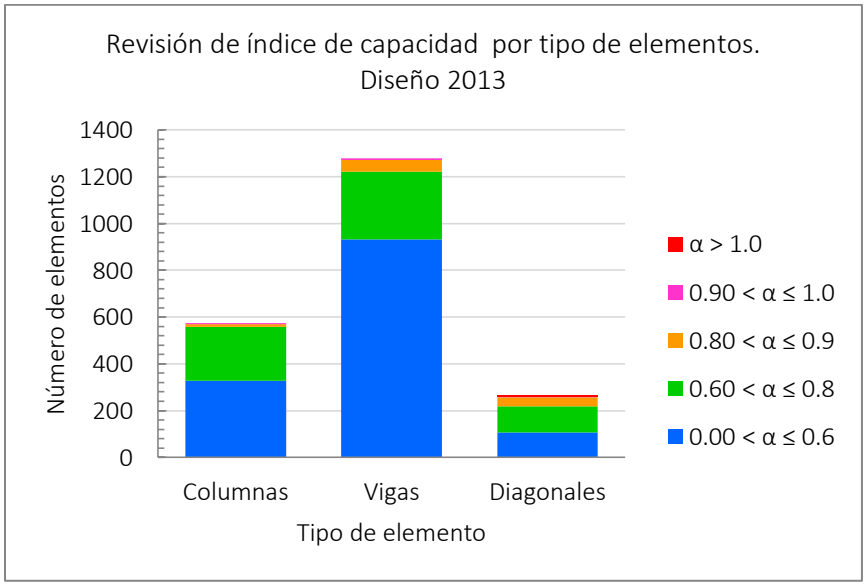
Se observa que existen 5 diagonales cuyo índice de capacidad es mayor que 1.0, con valores que van de 1.007 a 1.284. 4 de los contravientos excedidos se encuentran en el nivel 9, donde se configuró el cinturón de contravientos para disminuir los desplazamientos laterales, lo cual muestra que dicho nivel es crítico cuando se toman en cuenta fuerzas horizontales. Los contravientos trabajarán cuando los marcos no sean capaces de resistir elementos mecánicos, por lo que su acción depende de la capacidad de otros elementos, así que no son críticos para la estabilidad de la estructura, y es aceptable el índice de capacidad que presentan. Para solventar la falta de capacidad de los contravientos pueden usarse secciones con más área de acero.

Tabla IV-11 Estado Límite de falla. Diseño 2013

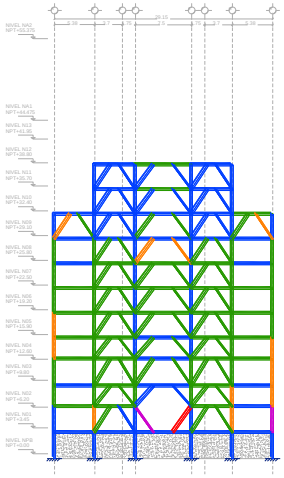
	Columnas	Vigas	Diagonales	Total
0.00 < α ≤ 0.6	327	933	106	1366
0.60 < α ≤ 0.8	231	288	112	631
0.80 < α ≤ 0.9	12	51	39	102
0.90 < α ≤ 1.0	3	6	2	11
α > 1.0	0	0	5	5
Σ	**573**	**1278**	**264**	**2115**



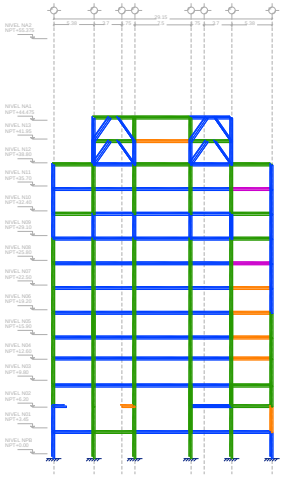
Gráfica IV-7 Revisión de Estado Límite de falla. Diseño 2013.



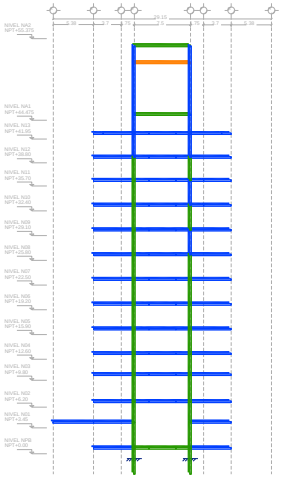
Gráfica IV-8 Estado Límite de falla por tipo de elemento. Diseño 2013.



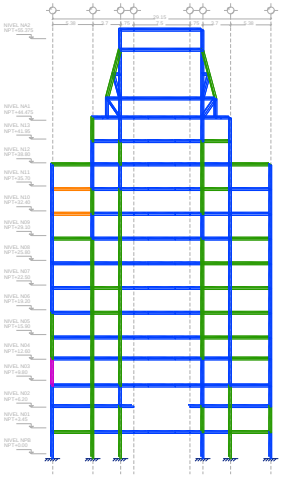
ELEVACIÓN EJE 1



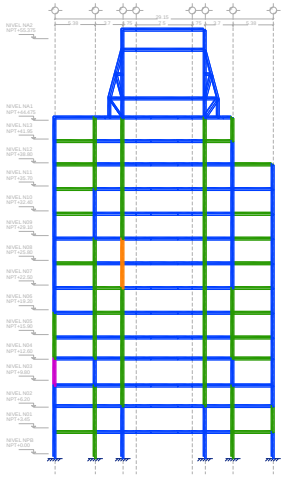
ELEVACIÓN EJE 2



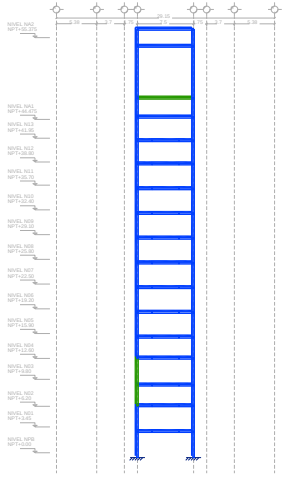
ELEVACIÓN EJE 2A



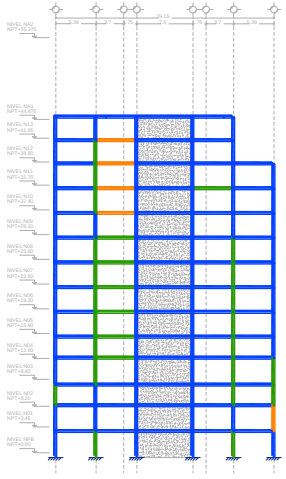
ELEVACIÓN EJE 3



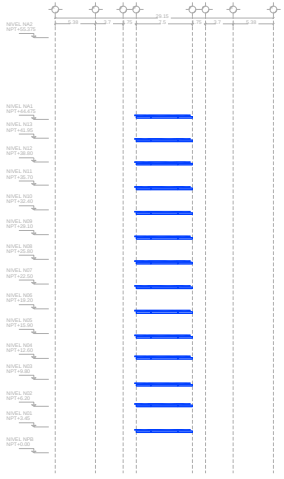
ELEVACIÓN EJE 4



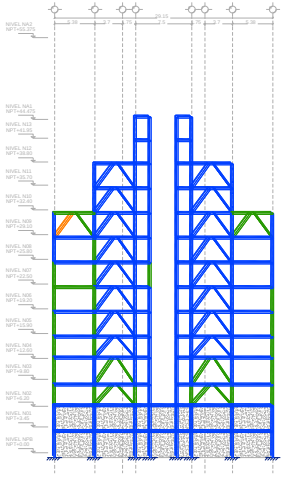
ELEVACIÓN EJE 4A



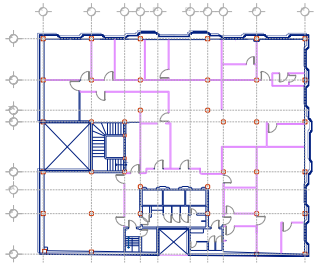
ELEVACIÓN EJE 5



ELEVACIÓN EJE 5A



ELEVACIÓN EJE 6



PLANTA ESQUEMÁTICA

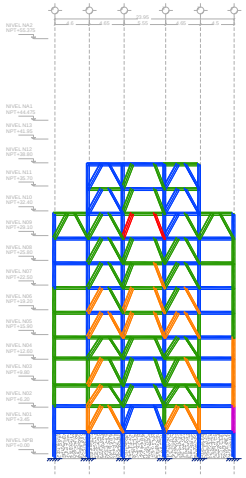
Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

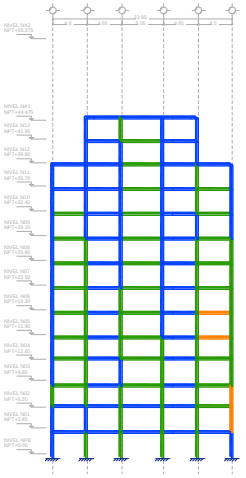
Presenta: OSCAR MINOR GARCÍA				
Director de Tesis: M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ				
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Edificio: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.16	Escala: SIN	
Título: REVISIÓN ESTADOS LÍMITE DE FALLA	Fecha: 17/08/13	Figura: V.16		

Fig. IV.16 REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA DISEÑO 2013

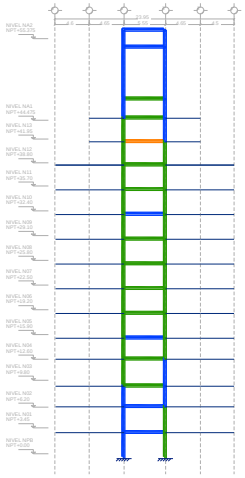
Figura IV.16 Revisión de estados límite de falla, diseño 2013.



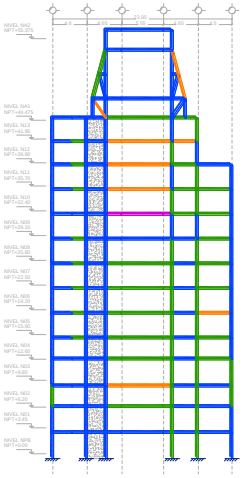
ELEVACIÓN EJE H



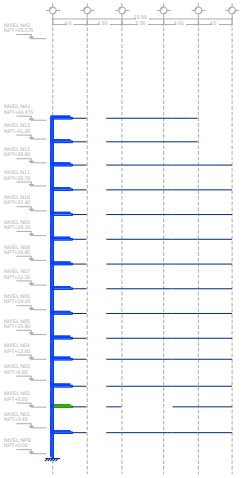
ELEVACIÓN EJE G



ELEVACIÓN EJE F



ELEVACIÓN EJE E



ELEVACIÓN EJE D2

Simbología

$0.00 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.60$

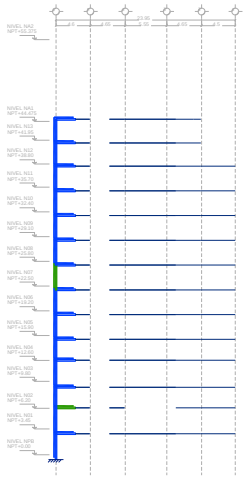
$0.60 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.80$

$0.80 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 0.90$

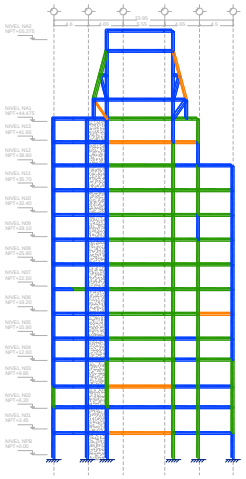
$0.90 < \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}} = 1.05$

$1.05 > \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{perm}}$

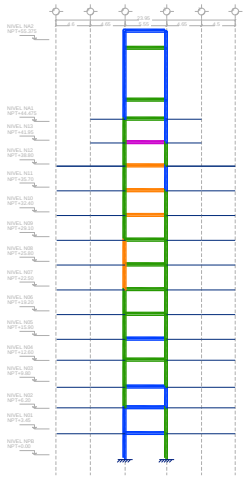
MURO DE CONCRETO



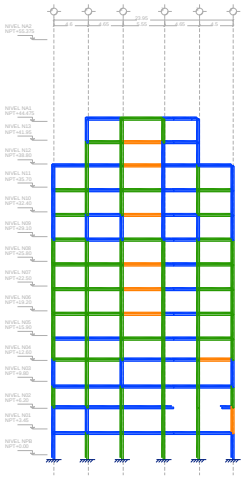
ELEVACIÓN EJE D1



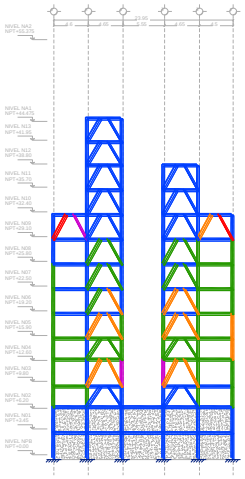
ELEVACIÓN EJE D



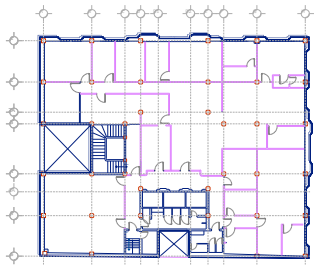
ELEVACIÓN EJE C



ELEVACIÓN EJE B



ELEVACIÓN EJE A



PLANTA ESQUEMÁTICA

Tesis Profesional

COMPARACIÓN ENTRE DOS POSIBLES SOLUCIONES AL DISEÑO ESTRUCTURAL, DE 1930 Y CONTEMPORÁNEA, DEL EDIFICIO LA NACIONAL, PRIMER RASCACIELOS DE MÉXICO.

Presenta:	OSCAR MINOR GARCÍA			
Director de Tesis:	M. en I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ			
Concepto: DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	Grado: JLTS/OMG	Archivo: LN_CIV.17	Escala: SIN	
Título: REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA	Fecha: 17/08/13	Figura: IV.17		

Fig. IV.17 REVISIÓN DE ESTADOS LÍMITE DE FALLA, DISEÑO 2013

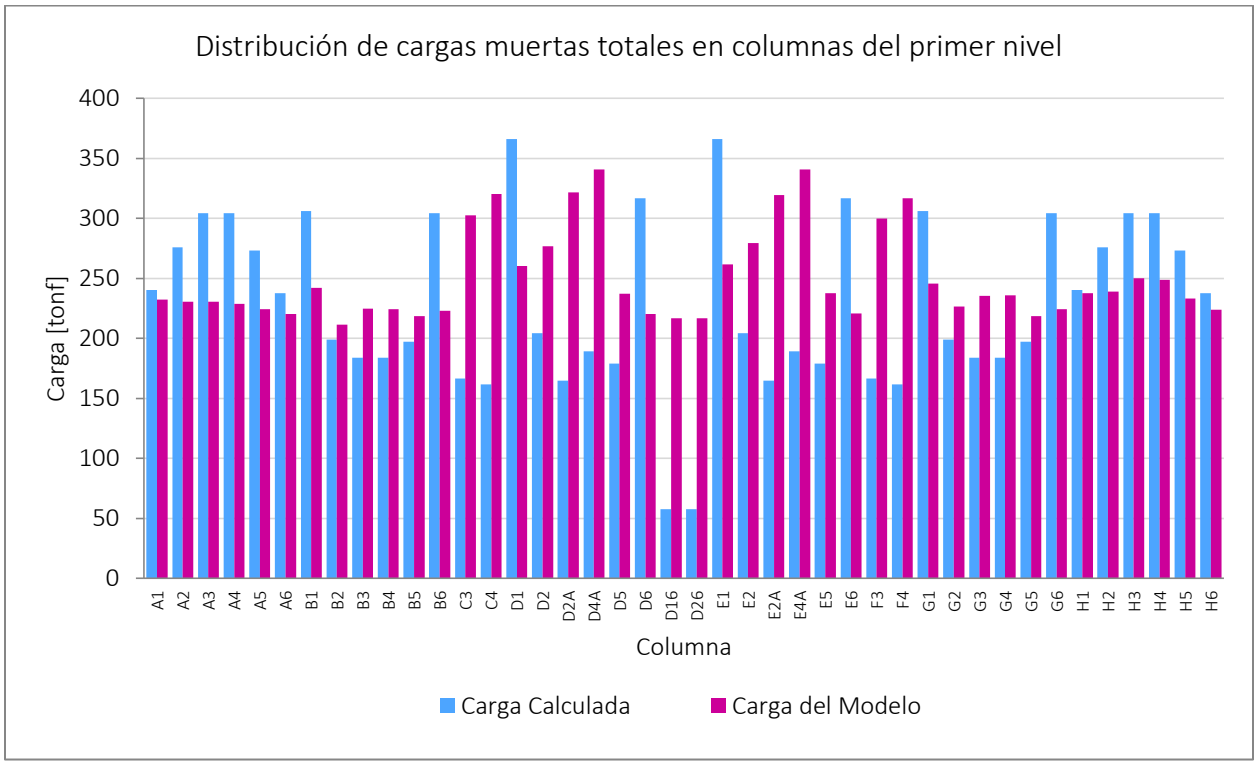
Figura IV.17 Revisión de estados límite de falla, diseño 2013.

C. Comparación de resultados

Cada una de las estructuras propuestas tiene características propias que las hacen correctas. No se puede decir que una está bien y la otra no porque en el diseño influyen una gran cantidad de factores que es difícil evaluar la estructura de manera tan simple. Para esta sección, se tomaron diversos parámetros que sirvieron como punto de comparación entre las dos estructuras propuestas.

1. Diseño

Una primera comparación que se hizo fue entre las hipótesis usadas para el diseño y el modelo empleado. En el pre-dimensionamiento se hizo una conceptualización muy general de las cargas que soportaría cada elemento. Teóricamente, así es como sucede en la realidad: las cargas de los pisos se reparten entre las vigas, que se apoyan a su vez en columnas, repartiendo y dividiendo esas cargas hasta la cimentación. Se puede usar la analogía de un árbol donde las hojas son sostenidas por las ramas las cuales a su vez se apoyan en el tronco y todo el conjunto descarga en las raíces. El modelo analítico realiza esta repartición de cargas tomando en cuenta además las características de los elementos (rigideces), por lo que la distribución tiene cierta variación. La gráfica siguiente muestra la comparación entre los valores obtenidos de la descarga calculada manualmente y la obtenida del modelo. Se puede apreciar una tendencia equivalente en los ejes A, B, G y H, pero una variación importante en las columnas de los ejes interiores. Lo anterior se explica porque…



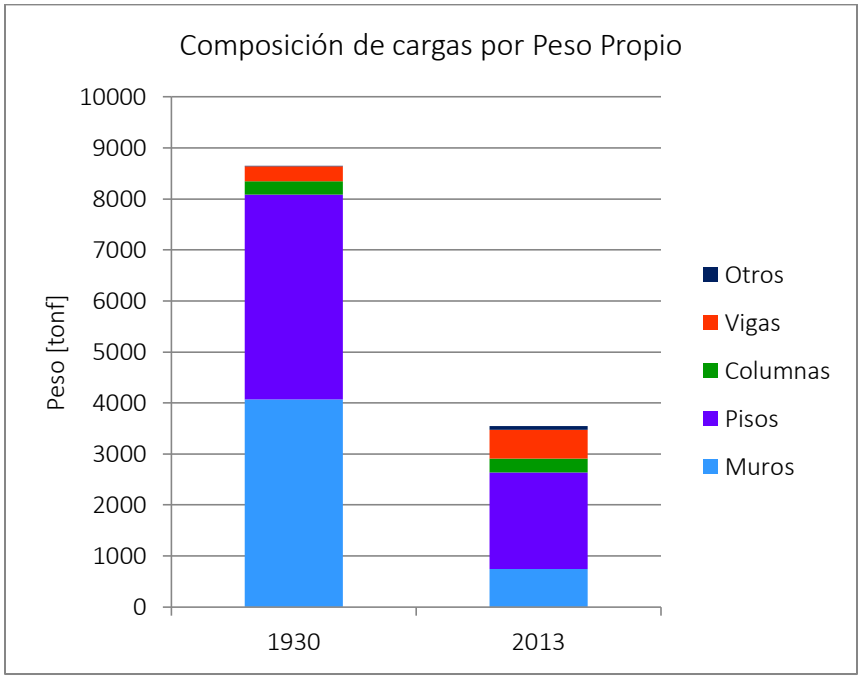
Gráfica IV-9 Distribución de cargas muertas totales en columnas del primer nivel. OMG 2013

Una de las principales variaciones entre las dos estructuras propuestas fueron los muros, que como se pudo observar en el diseño de 1930, fueron éstos los que, junto con los pisos, adicionaban más del 90 % del peso de la estructura. Para el diseño de 2013 se optó por desligarlos de la estructura, despreciando su aportación a la rigidez del sistema pero considerando su peso, pues influye en la obtención de las fuerzas sísmicas. Esto permite el uso de una fachada más ligera que los muros de concreto reforzado. Actualmente, la mayor parte de los edificios se cubren con vidrio, que ofrece ventajas en cuanto a luz interior, sin embargo, como el objetivo de este trabajo es diseñar un inmueble de apariencia similar al que está construido, lo ideal fue considerar elementos prefabricados.

2. Peso por elementos estructurales

La gráfica IV-4 muestra la composición de la carga muerta por peso propio en ambas estructuras. El total de carga por peso propio para el diseño de 1930 es de 8,600 tonf, 240 % más que para el diseño de 2013, el cual fue de 3,500 tonf. Esta cifra no muestra del todo la eficiencia en peso total de la estructura pues los muros no se contabilizan aquí, sino como una sobrecarga, pues no pertenecen propiamente a la estructura según la filosofía de diseño.

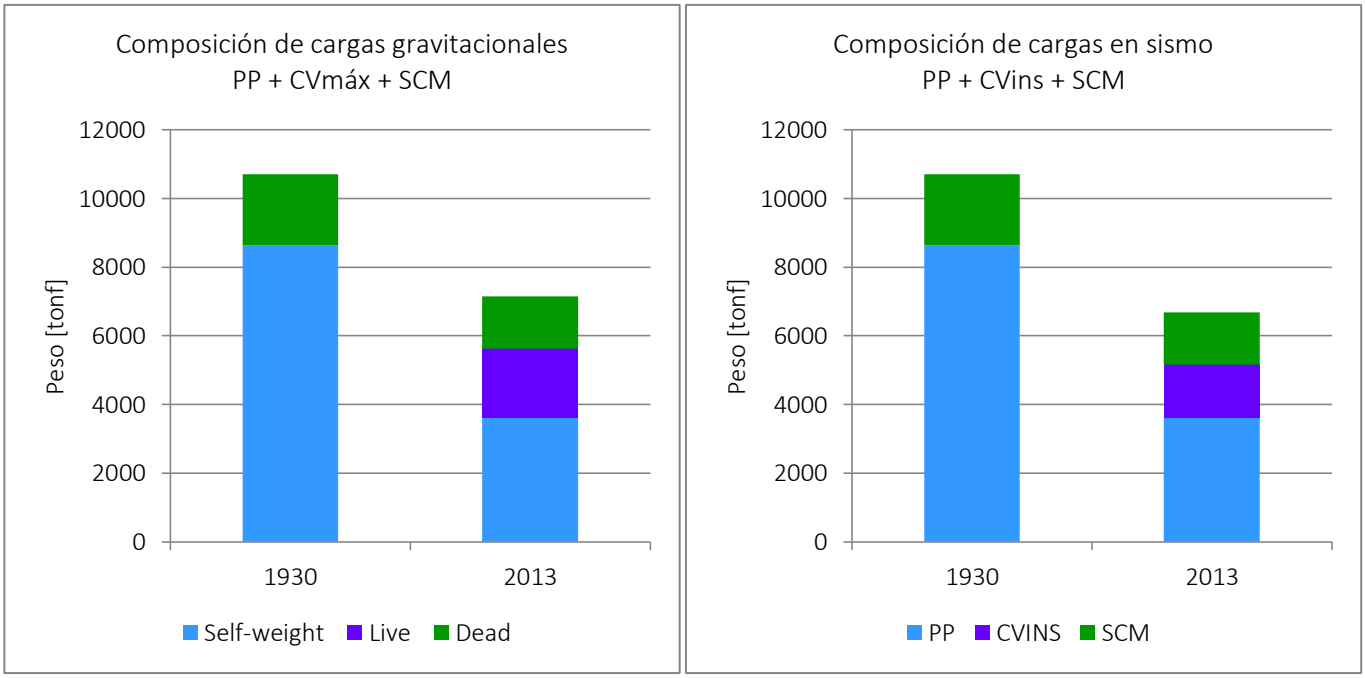
De la gráfica podemos observar que los pisos también tuvieron una reducción en peso, pues se optó por un sistema de losacero con un firme de compresión de 5 cm, a diferencia de la losa maciza de 20 cm considerada en el diseño de 1930. Es un hecho que con la losacero se reduce el volumen de concreto, pero también hay que tener en consideración el hecho de que dicho sistema conlleva el uso de vigas secundarias adicionales a las que ya se tenían en el primer diseño, por lo que la proporción mostrada en la gráfica no es un índice concreto para evaluar las ventajas de uno u otro sistema. Derivado de lo anterior, el peso de las vigas aumentó para el diseño de 2013.



Gráfica IV-10 Composición de las cargas por Peso Propio. OMG 2013.

3. Peso por condición de carga

La gráfica IV-5, muestra la composición de los pesos totales de la estructura cuando se considera la carga viva máxima (peso total gravitacional) y cuando se considera la carga viva instantánea (peso total en sismo). Es aquí donde se contabiliza la aportación al peso de los muros en el diseño de 2013 dentro de la categoría de sobrecarga muerta, aunque los muros de 1930 se contabilicen en el peso propio.



Gráfica IV-11 Composición de cargas totales gravitacionales y en sismo. OMG, 2013

4. Periodos

Lo primero que se puede mencionar respecto a los periodos de ambas estructuras es que de estos depende el valor de las fuerzas sísmicas con la que se diseñan las estructuras.

Los tres primeros periodos de ambas estructuras son mostrados a continuación;

Tabla IV-12 Comparación entre los tres primeros periodos.

	T_1	T_2	T_3
1930	0.529	0.425	0.242
2013	0.969	0.859	0.573

Se observa pues que el primer modelo es más rígido que el segundo, situación que ya se había advertido con anterioridad.

Para obtener la relación entre ambas rigideces podemos hacer el siguiente razonamiento:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}; \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Entonces

$$\frac{T_{n1}}{T_{n2}} = \frac{\frac{2\pi}{\omega_{n1}}}{\frac{2\pi}{\omega_{n2}}} = \frac{\omega_{n2}}{\omega_{n1}} = \frac{\sqrt{\frac{k_2}{m_2}}}{\sqrt{\frac{k_1}{m_1}}}$$

$$\frac{\frac{k_2}{m_2}}{\frac{k_1}{m_1}} = \frac{k_2 \times m_1}{k_1 \times m_2} = \left(\frac{T_{n1}}{T_{n2}}\right)^2$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{T_{n1}}{T_{n2}}\right)^2 \times \frac{m_2}{m_1}$$

Donde

T_n : Periodo natural de la estructura
ω_n : Frecuencia natural circular
m : Masa de la estructura

Sustituyendo los valores obtenidos de ambas estructuras, haciendo los valores con subíndice 2 correspondientes a la estructura de 1930 y los valores con subíndice 1 correspondientes a la estructura de 2013, se tiene que:

$$\frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{T_{n1}}{T_{n2}}\right)^2 \times \frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{0.969\ s}{0.529\ s}\right)^2 \times \frac{10{,}714.57\ tonf}{7143.04\ tonf} = 5.03$$

Resulta pues que la estructura de 1930 es 5 veces más rígida que la estructura de 2013.

Debido a su ubicación, a la estructura le corresponde la zona III-b, como se aprecia en la figura II-9. Este tipo de zona es a la que le corresponden las aceleraciones de terreno mayores (fig. IV-18) y por tanto las fuerzas sísmicas mayores. Para poder diseñar una estructura con fuerzas sísmicas menores, es decir, para esperar que una estructura se comporte adecuadamente durante un sismo con esa ubicación, habrá que hacerla o muy rígida, para que el periodo natural se encuentre en la rama ascendente del espectro que le corresponde, o bien, una estructura muy flexible, con un periodo mayor al periodo característico Tb, que para el caso de la zona III-b es de 3 segundos. Esta característica pudo observarse en el temblor de 1985 en el que ocurrió que la mayor concentración de daños y colapsos en estructuras se presentó en edificaciones de entre 6 y 15 niveles, estructuras con un periodo de vibración cercano al dominante del terreno, y en las que los efectos de resonancia resultaron catastróficos. Con base en los resultados de la estructura diseñada de 1930, se puede inferir que la característica que ha hecho que el edificio existente permanezca en pie es debido a la rigidez y resistencia que le proporcionan los muros perimetrales. Por lo

anterior, la estructura diseñada de 2013, al tener un periodo más cercano al periodo dominante del terreno, implica que sea más vulnerable ante eventos sísmicos.

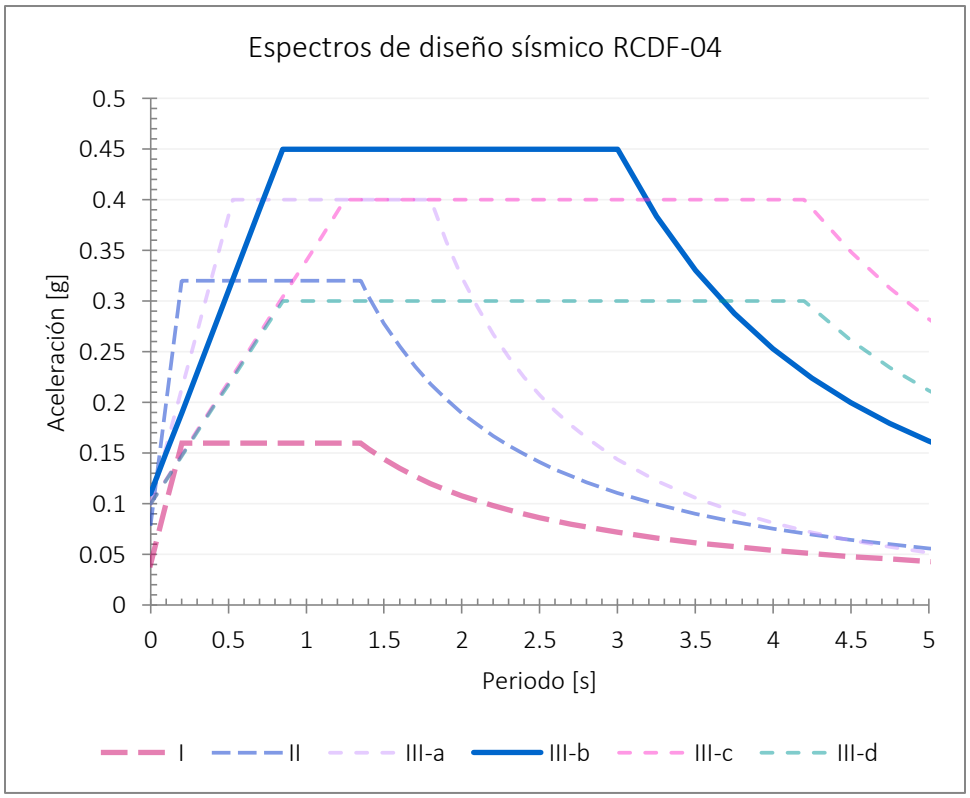


Figura IV.18 Espectros de diseño sísmico según el RCDF-04, OMG, 2013.

Lo anterior no significa que la estructura diseñada de 2013 no represente una mejor opción que aquella de 1930, sino que al ser la estructura de 2013 más flexible, en un evento sísmico, los elementos estructurales tendrán una demanda de capacidad mayor, y para liberar la energía que el movimiento le imprime a la estructura, habrá que disiparla por medio de las deformaciones de sus elementos. La capacidad de sobrellevar sin fallar grandes deformaciones es lo que conocemos con el concepto de ductilidad, y es esta característica con la que se pretende liberar las grandes cantidades de energía de los sismos por lo que en el diseño sísmico, se debe procurar proporcionar a la estructura de la ductilidad adecuada de acuerdo con las fuerzas sísmicas probables a las que estará sometida.

Las deformaciones de las que se habló en el párrafo anterior, implican que para un sismo de diseño, se acepta cierto nivel de daño en función de la ductilidad con que se diseñe la estructura. Este aspecto debe estar presente para los propietarios, quienes tendrán que reparar, reestructurar o en un caso extremo, demoler la estructura después del evento sísmico, lo cual puede resultar más desfavorable económicamente.

5. Deformaciones

Cuando se mostraron los resultados del análisis de estados límite de servicio, se presentaron las distorsiones que ambas estructuras exhiben. A continuación se hace la comparación entre las dos.

Siguiendo con la línea del punto anterior, las características de la estructura diseñada de 1930 hacen que se presenten distorsiones muy pequeñas, provocando pequeños desplazamientos horizontales y por tanto, menos daños en un evento sísmico. Por su parte, la estructura más flexible del diseño de 2013 presenta distorsiones que están apenas debajo del límite marcado por las normas aplicables llegando a un desplazamiento máximo de 45 cm en la dirección Y (Este-Oeste). Este desplazamiento visto aislado puede parecer muy grande, pero si se toma en cuenta que la distorsión máxima permitida es de 0.012, para la altura del edificio se estaría permitiendo un desplazamiento del orden de 60 cm. En realidad, si se considera el efecto de la sobrerresistencia que está implícito en el reglamento aplicable, las distorsiones serían casi de 0.030, que se traducen en un daño grave para cuando se presente el sismo de diseño.

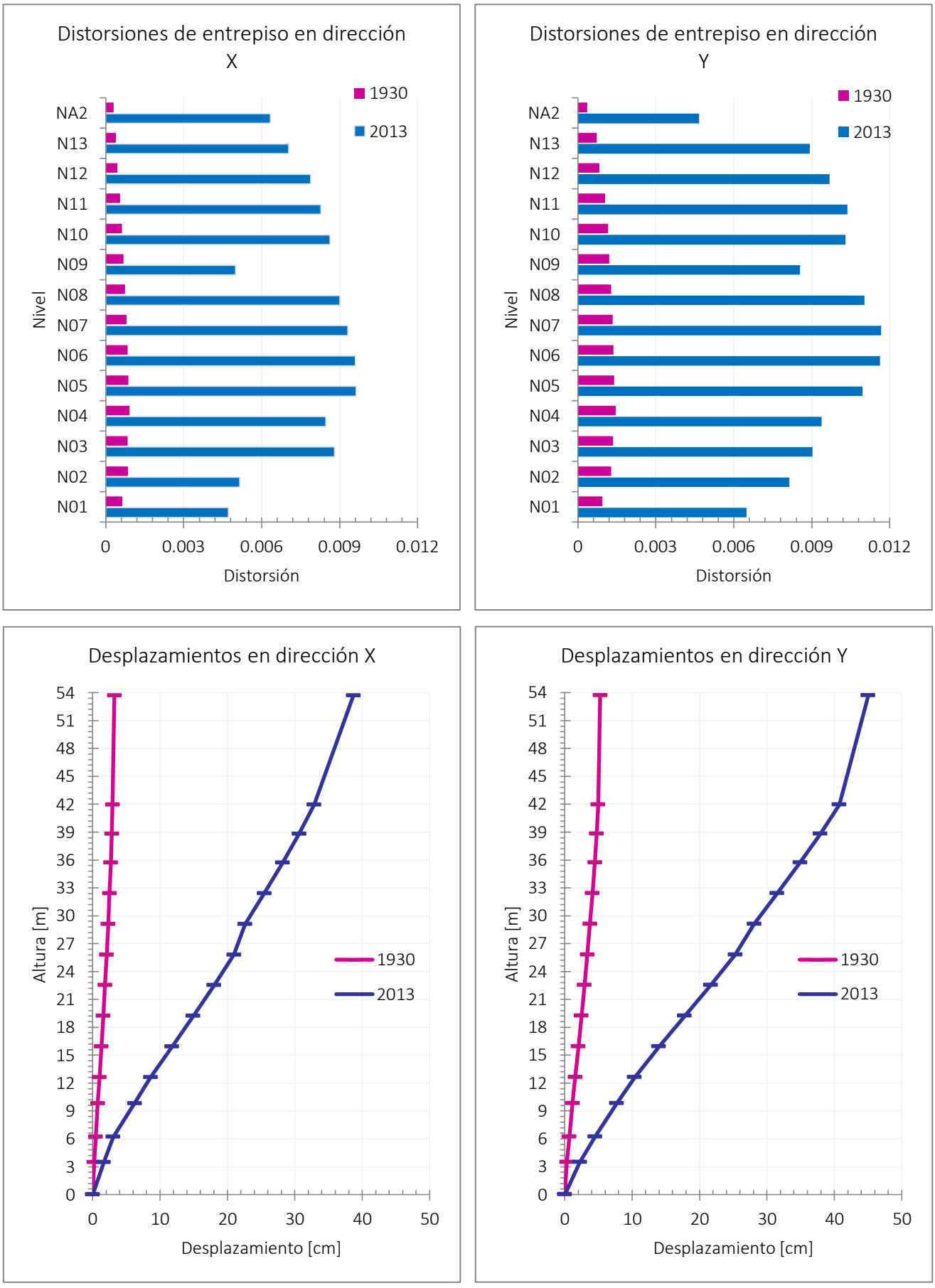
Otro análisis que debe hacerse en cuanto a deformaciones es la revisión de separación con edificios colindantes pues como se observó en el sismo de 1985, varias estructuras de diferentes alturas y con diferente estructuración, sufrieron daños importantes dado que chocaron entre sí con el movimiento, y ese choque significaba una fuerza horizontal concentrada en el edificio más grande. En el reglamento, la separación entre edificios colindantes se limita a 5 cm o el desplazamiento horizontal calculado aumentando en el caso de la zona III, 0.006 veces la altura del nivel analizado. Esta parte del reglamento se hizo con la intención de tomar en cuenta la sobrerresistencia que es capaz de tener una estructura desde que aparece la primera falla hasta el colapso. En este caso la estructura propuesta no cumpliría con esta revisión, lo cual es visible ya desde los desplazamientos observados en la gráfica anterior, pues la separación con el edificio aledaño no llega a los 30 cm.

No obstante, existe también un párrafo en la norma que indica que cuando se trata de edificios con una estructuración similar, con alturas de entrepiso y altura total similares, la separación será la mitad de la suma de las separaciones que corresponden a cada uno. En este caso, el edificio aledaño presenta el mismo número de pisos y aparentemente estructuración similar. La diferencia más importante es que su planta no es sensiblemente simétrica como en la Nacional, sino alargada en el sentido normal al plano colindante de las dos estructuras, con lo cual se esperarían desplazamientos menores en esa dirección. El análisis detallado de estructuras aledañas cuando se diseñan estructuras nuevas se debe realizar, y la nueva construcción deberá satisfacer las distancias requeridas por ambos edificios. En este trabajo no se hizo ese análisis.

1. Capacidad

Dado que se realizó un diseño estructural, la finalidad es que la totalidad de los elementos sean capaces de resistir las solicitaciones a las que estará sometida la estructura.

Cabe recordar que para el primer diseño se dimensionaron las columnas con perfiles de acero para resistir la totalidad de las cargas gravitacionales. Como se vio en el apartado correspondiente sólo una columna resultó excedida en un 2% ante la combinación de carga 29, la cual incluye los efectos de sismo. El panorama que presentan las columnas es francamente aceptable.



Gráfica IV-12 Distorsiones de entrepiso y desplazamientos máximos en ambas direcciones para los dos diseños.

Para el caso de las vigas excedidas del primer diseño, éstas se encuentran en el último nivel y presentan ese índice de capacidad para la combinación de carga 21, correspondiente a cargas gravitacionales, las cuales son relativamente sencillas de cuantificar y un análisis más refinado de cargas resultará en una disminución de las solicitaciones de la viga.

Por su parte, el diseño de 2013 presentó en vigas y columnas índices de capacidad menores que 1.0. 5 contravientos fueron los que resultaron excedidos en capacidad.

En general, ambas estructuras presentan capacidades suficientes para las solicitaciones que a cada una le corresponde.

2. Conexiones

A pesar de que no se llegó al nivel de detalle del diseño de las conexiones, se hacen mención las principales características que tiene cada uno de los diseños propuestos al respecto.

Durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, era práctica frecuente en la construcción de acero el uso de remaches como elementos de unión. El reglamento actual no indica especificaciones relativas a los remaches pues ya no son utilizados, pero sugiere al estructurista en caso de que se vea en la necesidad de evaluar conexiones remachadas el recurrir a especificaciones o libros de texto antiguos.

Según el libro *Empleo del hierro en la construcción*[85], de 1929, el diámetro de remache ordinario es de 7/8 de pulgada. La distancia entre tornillos debía ser calculada.

Una conexión remachada puede fallar por alguna de las siguientes formas:

a. Falla por cortante en el remache
b. Por rotura de los remaches o de alguna de las piezas sobra las que actúan
c. Por desgarramiento de los remaches a través de las piezas conectadas.

Para el modo de falla del inciso a, el valor del cortante permisible se obtiene multiplicando el área de la sección transversal del remache por el esfuerzo permisible a cortante.

La capacidad de carga admisible, o resistencia la tensión se obtiene multiplicando el esfuerzo permisible a tensión por el diámetro del remache y el espesor de la placa considerada.

Para satisfacer los requerimientos del inciso c, se puede considerar la regla empírica de que los remaches no deben colocarse a una distancia menor que tres veces el diámetro del mismo, y la distancia

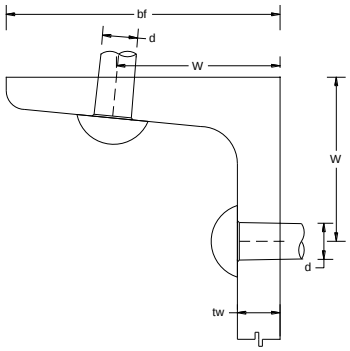


Figura IV.19 Distancias para la ubicación de remaches en secciones I y canal. OMG, 2013.

[85] Kersten, C. (Carl) (Traducción de Bassegoda Musté, Buenaventura). (1929). *Empleo del hierro en la construcción.* Editorial Canosa: Barcelona.

del remache al borde de la placa no debe ser menor que 1 ¼ de pulgada para remaches de 7/8. Cuando se remachan perfiles de canales los remaches se colocan a una distancia w = ½ (b_f – t_w), o w = ¼ (b_f – t_w) cuando se trata de secciones I.

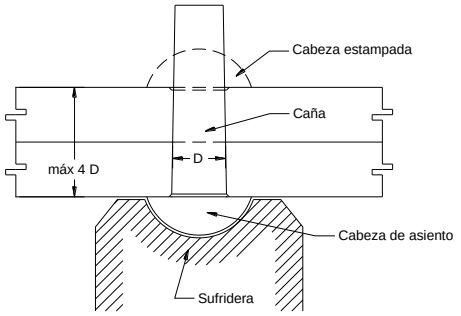


Figura IV.20 Detalle de una conexión por remachar.

En cuanto a la construcción, el proceso del remachado era un tanto laborioso y exigía medidas de seguridad especiales.

Se comenzaba por marcar el eje de las filas con auxilio de un gramil o patrón calibrador y se procedía a hacer el remache, para lo cual había dos métodos: en frío y en caliente, siendo este último el más popular.

Los remaches en caliente eran fabricados en acero dúctil, con el fin de que no se volvieran frágiles al calentarlos y al martillarlos con la remachadora al momento de formar la cabeza de cierre. Se calentaban en horno eléctrico, máquinas calentadoras o fraguas hasta una temperatura de 1000¨C, entonces se tomaban con unas tenazas y luego de quitarles la escama de óxido y las partículas incandescentes, se insertaban en los orificios de modo que la cabeza inferior quedara exactamente apoyada en todo su contorno por una sufridera o contraestampa. La cabeza de cierre se formaba ya sea manualmente a base de martillazos o con una pistola portátil que contaba con una depresión con la forma de la cabeza la cual aplicaba varios golpes por segundo. Así se lograban las cabezas redondas características de las costuras remachadas.

Cuando el remache se enfría, se contrae. Al contraerse transversalmente, se genera una holgura entre el orificio y el remache, permitiendo que la parte longitudinal también se contraiga, apretando las cabezas, las cuales comprimen a su vez las partes conectadas de forma que se desarrolle fricción entre ellas. En el cálculo de la resistencia se despreciaba la fuerza de fricción entre las placas.

La inspección de los remaches se hacía golpeando con un pequeño martillo las cabezas, habiéndose de rechazar el martillo como cuando se golpea un yunque, produciendo un sonido claro. De no ser así, significaba que el remache estaba flojo y se debía degollar para sustituir por otro.

Para finalizar con el pequeño tema de las conexiones en 1930, el manual Monterrey incluía ya algunos arreglos de conexiones para los diversos tamaños de perfiles que manejaba. Algunos se muestran en la figura, aunque no especifica la metodología para el cálculo, sí cuenta con tablas en las que se incluyen las dimensiones de los diversos remaches, los largos necesarios para diversos agarres y la resistencia al esfuerzo cortante y empuje. Lo único que dice es que "(El)

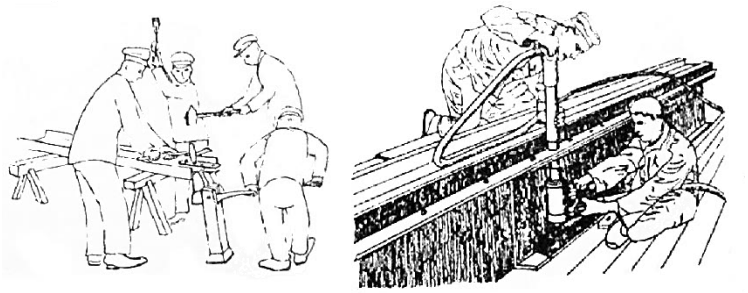


Figura IV.21 Remachado a mano y con pistola.

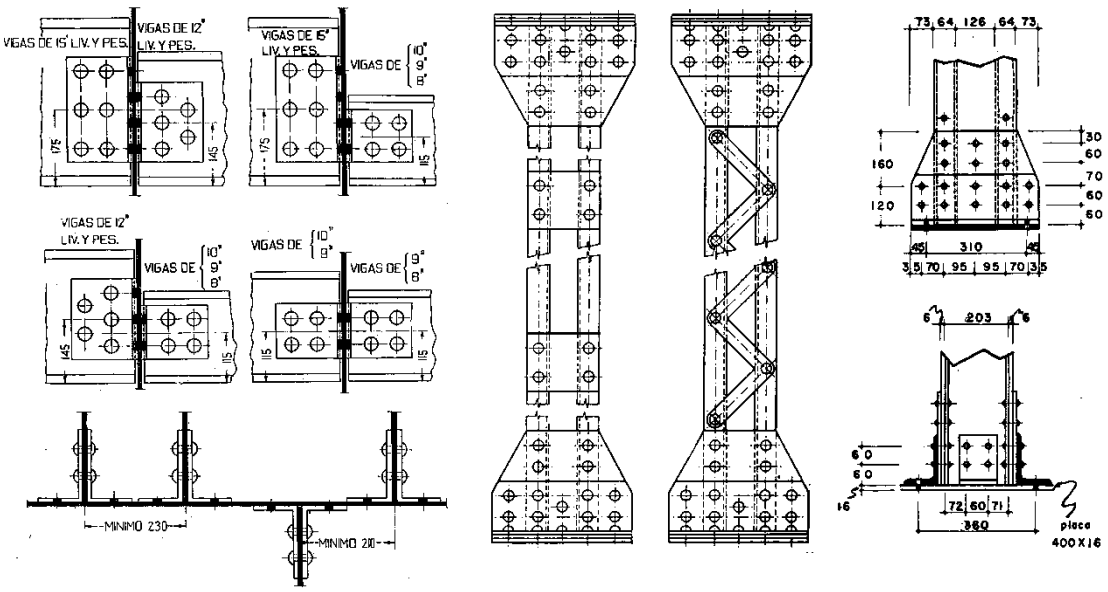


Figura IV.22 Detalles de conexiones y columnas propuestas en el Manual Monterrey.

número y tamaño (de los remaches) debe ser fijado de modo que resistan al esfuerzo cortante sin producir deformación en el metal de los agujeros".

En la actualidad, las conexiones de los diversos elementos estructurales se logran por medio de tornillos o soldadura. Las vigas de los marcos se unen a las columnas por medio de conexiones rígidas resistentes a momento por medio de sus patines. La fuerza cortante se resiste por medio de una placa unida al alma de la viga y al patín o alma de la columna. En el caso de elementos en los que no se requiera la restricción a la rotación, como es el caso de los largueros en la losacero, la conexión se hace del tipo flexible, únicamente colocando la placa de cortante.

En la construcción sismorresistente, se apuesta por la disipación de energía a través de la ductilidad, y el acero es un material que tiene características ideales para desarrollar esa propiedad.

La teoría fundamental es la siguiente: Un elemento estructural será capaz de soportar esfuerzos mayores que los que hagan que sus fibras exteriores alcancen el esfuerzo de fluencia, por la redistribución de esfuerzos, sin que ello signifique un estado límite de servicio o de falla. El elemento soportará un incremento de esfuerzos hasta un punto en el que la sección completa se haya plastificado, entonces aparece lo que se ha llamado una articulación plástica. Durante esa deformación en el rango inelástico del material, el elemento disipa una buena cantidad de energía. Al momento que ocasiona la formación de una articulación plástica se le llama momento plástico *Mp*. La falla ocurre cuando aparezcan cierto número de articulaciones plásticas que generen un mecanismo. El objetivo de un buen diseño sismorresistente es lograr el mayor número de articulaciones plásticas, o sea, la mayor cantidad de liberación de energía, antes del mecanismo de falla.

Para lograr la formación de articulaciones plásticas, se debe asegurar que el elemento no fallará antes ni por cortante ni por pandeo local. Además, la conexión viga-columna debe ser capaz de resistir sin fallar el momento plástico de las vigas. En realidad, las vigas serán capaces de desarrollar momentos un poco mayores que el momento plástico debido a que generalmente el acero tiene un esfuerzo de fluencia mayor al indicado por su valor fy. Este hecho es tomado en cuenta por las normas técnicas complementarias al especificar que las conexiones deberán diseñarse para un momento igual a 1.25 *Mp*.

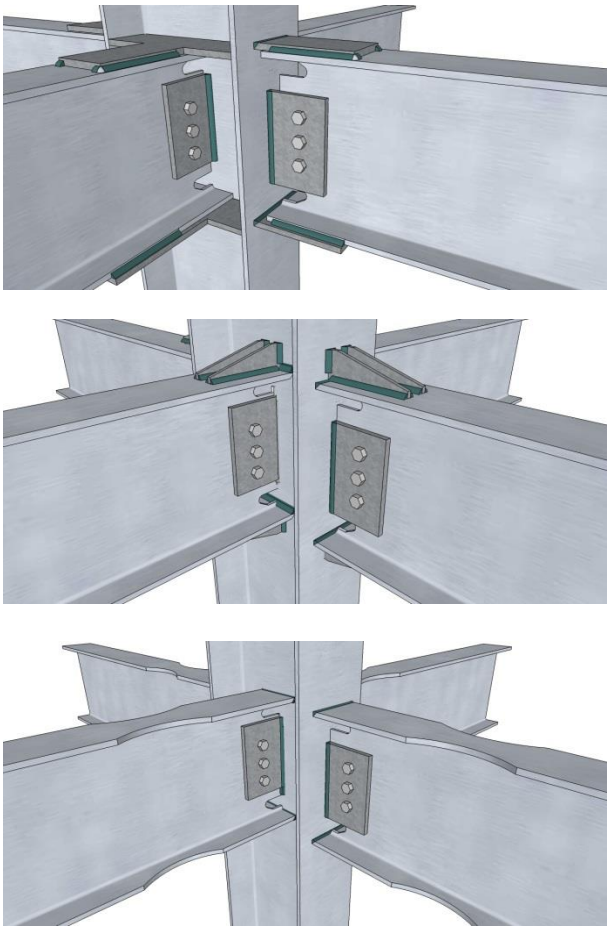


Figura IV.23 Detalles de diversas conexiones rígidas trabe-columna. Arriba conexión con placas; medio, conexión con nervaduras; abajo, conexión hueso de perro (Dog-bone). OMG, 2013.

La filosofía de diseño es evitar que las columnas desarrollen articulaciones plásticas, pues al ser éstas las que soportan el peso del edificio, su falla representaría una falla total, mientras que una falla en las vigas representaría una falla local con menos daños y más fácil de reparar. Por esto se diseña con el concepto de columna fuerte trabe débil, con la intención de garantizar la formación de articulaciones plásticas en las trabes.

Muchas veces, donde se aprende más acerca del comportamiento de las estructuras es cuando se observan aquellas que fallaron. El sismo de Northdrigde en California fue un gran laboratorio en el que las conexiones de estructuras de acero se pusieron a prueba. La conexión típica en Estados Unidos antes de aquel sismo se hacía soldando los patines de las vigas a los patines de la columna por medio de soldadura de penetración, y una placa de cortante unida al alma de la viga se conectaba al patín de la columna. Las fallas que se observaron fueron precisamente en la soldadura de los patines, las cuales fallaron antes de que se alcanzaran los niveles de esfuerzo que provocaran momentos plásticos en las vigas.

A partir de esa experiencia, se promovieron una serie de estudios detallados acerca de diversos tipos de conexiones, de las cuales algunos se describen a continuación.

Un primer tipo es una conexión rígida trabe columnas con placas soldadas a los patines de las vigas. Estas placas se sueldan con penetración completa a la cara de la columna, con lo cual se permite desarrollar grandes niveles de ductilidad por la formación de la articulación plástica en los extremos de las placas. Una variante de esa conexión es con nervaduras que se sueldan al patín de la viga a la cara de la columna, con lo que se rigidiza la conexión. Otra clase de conexión sismoresistente es la conocida como hueso de

perro (dog bone) donde se le hace intencionalmente una reducción a los patines de la viga para que en esa reducción se forme la articulación plástica.

Además de las mencionadas, existen otro tipo de conexiones como las de árbol, donde se fabrica toda la conexión en taller y sólo se monta con tornillos de alta resistencia en campo.

Cuando el diseño de una conexión queda regido por una condición de carga que incluya sismo, es necesario el utilizar placas de continuidad que permitan, como su nombre lo indica, la continuidad entre los patines de la columna. A este respecto, es conveniente el utilizar vigas con peraltes similares para que sus patines queden en un mismo nivel, y los efectos de ambos se contrarresten.

La zona de la columna comprendida entre los patines se denomina zona de tablero, y en ésta ocurre una concentración importante de esfuerzos de cortante cuando el marco está sometido a cargas laterales. Con la fluencia por cortante de esta zona se forma una articulación por cortante que es un mecanismo plástico alternativo para la disipación de la energía. Si la resistencia del tablero es inadecuada, se debe elegir una columna con un alma más gruesa o colocar placas adosadas al alma que logren cumplir con los requisitos.

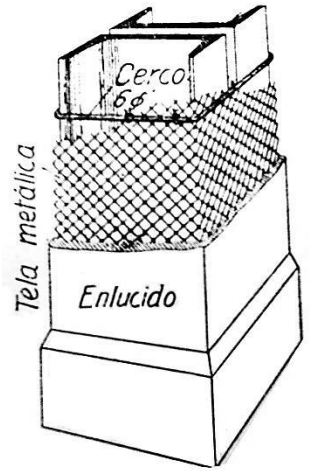


Figura IV.24 Recubrimiento para efectos del fuego en columnas.

En los últimos años, se ha mostrado una tendencia a la construcción compuesta en la que se combinan las ventajas del concreto y el acero para lograr estructuras más eficientes. Los marcos compuestos están formados por perfiles de acero que se calculan para soportar las cargas de la fabricación de la estructura mientras que los esfuerzos totales se le dejan al concreto con el que se cubren los elementos. Este sistema es ventajoso en cuanto a que la construcción puede avanzar verticalmente con gran velocidad.

Las conexiones en este sistema resultan ser más sencillas, del tipo flexible o semi rígido, pues cuando el nudo queda ahogado en el concreto, se desarrolla la continuidad y la rigidez necesaria para formar el marco dúctil.

Desafortunadamente no se encontró más información acerca de la concepción estructural del edificio La Nacional, pero pareciera que fue un sistema compuesto, con columnas embebidas en concreto. Por la época era común utilizar ese recubrimiento como uno de los procesos de protección contra el fuego, así que para este análisis no se tomó en cuenta como estructura compuesta sino simplemente como una estructura completa de acero.

Capítulo V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó una comparación entre dos soluciones estructurales para el mismo edificio. La comparación se hizo entre dos épocas, separadas entre sí por 80 años en los que se han venido acumulando una serie de descubrimientos y tendencias en cuanto a la concepción de las estructuras, con sistemas que difieren un poco de los hechos en aquel entonces pero cuyo objetivo principal: diseñar estructuras resistentes capaces de salvaguardar la vida de sus ocupantes, o los valores que guardan, es el mismo.

La Ciudad de México, dadas sus condiciones geológicas y su ubicación dentro de una zona volcánica, así como su cercanía a una zona con actividad sísmica importante, tiene características que la hacen complicada para las construcciones que los seres humanos han levantado en su superficie.

La principal problemática que desde los primeros pobladores en la ciudad se presentó fueron los hundimientos de las edificaciones, lo cual obligó al desarrollo de ingeniosos sistemas de cimentación que se han probado a lo largo de las diferentes etapas históricas por las que ha transcurrido la ciudad. El estudio con bases científicas de las cimentaciones comenzó en las primeras décadas del siglo XX, y la realización de pruebas y mediciones en la mitad del siglo pasado produjo importantes descubrimientos que hicieron comprensible los problemas del subsuelo de la Ciudad de México.

La construcción en acero adquirió gran popularidad a lo largo de los siglos XIX y XX a partir de la Revolución Industrial, impulsando el desarrollo de la humanidad de manera no antes vista. La construcción de edificios se desarrolló a la par en ciudades de Norteamérica que presentaban condiciones específicas que hicieron que los rascacielos desplazaran a los templos religiosos en cuanto a importancia dentro de las ciudades, y con ellos nació también una forma de organización de las ciudades cuyo esquema logró difundirse por todo el mundo a lo largo del siglo XX.

El concreto apareció poco después que el acero, pero adquirió una importancia similar en un corto lapso de tiempo. Pronto apareció toda una teoría alrededor de este material con la que fue posible comprender su comportamiento y lograr así el mejor provecho de sus propiedades. Los inicios del capitalismo como sistema económico mundial provocaron que las construcciones adquirieran una importancia diferente, pues la diversificación de las mismas hizo posible la aparición de nuevos estilos en las edificaciones pues eran construidas no por las grandes entidades como la iglesia o el estado, sino por particulares que buscaban imprimir en ellas la representación de su poder y su bienestar.

La versatilidad del concreto provocó que se adaptara a un estilo que nació en la tercera década del siglo XX, que se anunciaba como la máxima representación de la modernidad: El *Art Déco*. A su vez, esta nueva estética logró abarcar gran cantidad de ramas artísticas incluida por su puesto, la arquitectura. La

situación política de México permitió la adaptación de esta estética lográndose ilustres ejemplos de este estilo arquitectónico.

El edificio La Nacional tiene una gran importancia en la historia de la ingeniería y la arquitectura de la Ciudad de México. Es el primer rascacielos en México. Es el primer edificio cimentado hasta la capa dura de la ciudad y es un diseño de arquitectos mexicanos, en el que participaron dos empresas mexicanas y en el que se depositaron las esperanzas de una empresa de seguros mexicana.

La ingeniería civil, en especial la ingeniería estructural, trata con construcciones que perduran por más que el tiempo de vida de un ser humano. Es entonces nuestro deber analizar que dichas estructuras sigan cumpliendo con los requisitos que garanticen su adecuado comportamiento. Una forma de comprender esas estructuras es conociendo las hipótesis incluidas en su concepción, así como los métodos que influyeron en su diseño.

El proceso de diseño estructural involucra el conocimiento de las necesidades que requieren los ocupantes de la estructura, los usos que le darán al inmueble y las características que desean en la construcción. Asimismo, involucra el conocimiento de las propiedades de los materiales con los que se cuenta y su disponibilidad, las características del lugar en el que se habrá de construir y los reglamentos que habrán de cumplirse con el fin de lograr un diseño seguro y eficiente.

En este trabajo se realizaron dos diseños estructurales para las mismas necesidades. En el primero, se buscó recrear el procedimiento de diseño, las consideraciones y las herramientas con las que un ingeniero contaba en 1930. Lo mismo se buscó para el segundo diseño, pero en la actualidad.

Los resultados fueron mostrados en este trabajo, y conviene resumirlos aquí.

La estructura de 1930 está formada por marcos rígidos en dos direcciones ortogonales formados por perfiles que fabricaba la Compañía de Fierro y Acero de Monterrey. El contorno de la estructura se modeló con muros de concreto reforzado de espesores diversos, imitando la estructura real y con el fin de evaluar su comportamiento. El diseño de los perfiles de acero se realizó para cargas verticales totales.

La estructura de 2013 está constituida al igual por marcos rígidos en dos direcciones ortogonales, formados por perfiles estándar IR y sistema de piso de losa de lámina acanalada con firme de compresión de 5 cm. El reglamento usado en su diseño fue el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 2004. Las cargas y el diseño sísmico se hicieron respetando dicho reglamento. Para este diseño también se elaboró un modelo matemático que representara a la estructura y su comportamiento ante las solicitaciones correspondientes. Los muros perimetrales se desligaron de la estructura considerando únicamente su peso, ignorando la aportación que pueden tener en la rigidez del sistema.

Esta última discrepancia fue la principal diferencia entre las dos estructuras. Se observó que los muros considerados en el primer diseño le proporcionan a la estructura 5 veces más rigidez que para la segunda estructura. Además, esta diferencia resulta en una disminución considerable del peso en la segunda estructura del orden de 3,500 tonf, un 50 % menos peso.

Los edificios de acero son más flexibles que los de concreto, esto debido a que se necesitan secciones más esbeltas y las conexiones no son completamente rígidas. La flexibilidad de estas estructuras se traduce en desplazamientos que pueden no ser tan grandes, pero que acumulados por el número de niveles que un rascacielos puede tener, muchas veces resulta una limitante importante en cuanto a diseño. Existen varias formas de hacer que las construcciones presenten desplazamientos menores, como son los contravientos en cualquiera de sus modalidades, o muros de cortante que ayudan a rigidizar a las estructuras ante cargas horizontales. En edificios de gran altura, un método que se puede utilizar es el de estructuras tubulares, o tubo e tubo, como en el Sears Tower.

En el segundo diseño de La Nacional, los desplazamientos son muy grandes debido a que su localización le corresponde un coeficiente sísmico muy grande, que se traduce en fuerzas sísmicas y desplazamientos de gran magnitud. Se decidió emplear el método de contravientos concéntricos en V invertida, que en un evento sísmico, provoca concentración de esfuerzos en una zona específica, y si se tiene cuidado en reforzar con atiesadores la zona donde los contravientos se encuentran, se podrá tener una buena disipación de energía.

Los marcos con contravientos excéntricos son aptos para sistemas sismorresistentes en zonas con sismicidad importante. La ventaja que presentan es que tienen rigidez en su rango elástico combinada con una excelente ductilidad con la correspondiente disipación de energía durante el rango inelástico de su comportamiento. Estos sistemas no convergen en el mismo punto, sino que dejan un espacio entre las vigas, llamado comúnmente eslabón o muñón de cortante, en el que se pretende que se formen las articulaciones plásticas. Debido a esto, el contraviento se debe diseñar para ser capaz de resistir las fuerzas de compresión y de tensión que se presentan en un evento dinámico, sin que fallen antes de que se forme la articulación en el eslabón. En este trabajo los contravientos no se diseñaron.

En cuanto a la localización de los contravientos, se buscó que estuvieran en los marcos exteriores de la estructura, teniendo cuidado de que en las fachadas se pudiera dejar el espacio requerido por las ventanas del edificio. Los lados contrarios a las fachadas se trató de no hacerlos demasiado rígidos para evitar problemas de torsión. Durante el modelado, se probaron varias disposiciones de los contravientos en la estructura y buscando en la literatura se encontró que un arreglo de armadura de sombrero, es decir, con el piso más alto contraventeado en su perímetro, reduce en gran medida las deflexiones laterales, así que se optó por emplear esta configuración, con la cual como se observó en los resultados, se cumple apenas con los límites especificados.

Siguiendo con uno de los puntos mencionados en el párrafo anterior, los edificios en esquina tienen generalmente problemas de torsión ya que en las colindancias se proponen las zonas rígidas dejando para los linderos de la calle huecos en fachada que permitan el aprovechamiento de la luz y la ventilación naturales. La Nacional es uno de estos casos. El diseño propuesto de 1930 no tiene problemas pues la diferencia entre las rigideces de los cuatro costados de la construcción es despreciable en relación con la rigidez de todos esos muros, los cuales actúan como un tubo que envuelve la estructura interior. Sin embargo, en la estructura de 2013 hubo de buscar esa igualdad de rigideces de forma que la diferencia en los cuatro marcos fuera menos marcada.

Otro sistema que en las últimas décadas ha adquirido popularidad y buenos resultados es la construcción compuesta, donde el acero y el concreto conjuntan sus esfuerzos para lograr estructuras eficientes, cubriendo el uno las debilidades del otro. El acero era recubierto con una capa de concreto ya desde principios de siglo, pero muchas veces este recubrimiento se hacía para proteger la estructura de acero de los efectos del fuego. No se tomaba en cuenta el trabajo estructural del concreto para soportar carga. En La Nacional vemos este tipo de construcción pero, dado que la información al respecto es escasa en literatura de la época, se intuye que así fue su concepción.

Al modelar, muchas veces también se presenta el problema de las condiciones de frontera. Los apoyos se modelan como empotramientos o apoyos simples. El empotramiento se puede presentar cuando se tiene una cimentación a base de pilas, las cuales imponen en la estructura una importante restricción en cuanto a desplazamientos y giros, pero a veces se tiene en la vida real que las estructuras se analizan de manera aislada, y puede que las construcciones aledañas sean demolidas para dar paso a nuevas construcciones, entonces el confinamiento que presenta el suelo alrededor de la cimentación, presenta discontinuidades que hacen que todo el edificio se comporte de manera diferente, digamos como si la altura total se incrementara, al igual que las fuerzas sísmicas.

La solución de 1930 es adecuada porque si nos remontamos al espectro de diseño, una estructura rígida con periodo alrededor de 0.5 s la aceleración que recibe cae dentro de la rama ascendente del espectro, lo que implica fuerzas sísmicas menores, a diferencia de la solución de 2013, donde el periodo era alrededor de 1 s, mayor que Ta = 0.85 s por lo que a ese periodo le corresponde la meseta del espectro, donde se tienen fuerzas sísmicas mayores y por tanto, los desplazamientos también se incrementan. Este fue el principal problema que se tuvo durante el segundo diseño, pues las derivas sobrepasaban el límite que imponen las normas. Lo anterior significa que el segundo diseño es más vulnerable, al encontrarse más cerca del periodo de vibración del terreno.

Otro aspecto en cuanto a la concepción del segundo diseño que es conveniente resaltar es que al diseñarse con un factor de comportamiento símico de Q = 2 la reducción de las fuerzas sísmicas no es tal que permite un diseño más ligero. Los marcos diseñados con un factor de Q = 3 o Q = 4, deben ser capaces de desarrollar la ductilidad tal que por medio de las deformaciones se disipe gran parte de la energía. Para ello, el detallado de la estructura debe ser muy cuidadoso y los reglamentos enuncian las características que deben tomarse al respecto en dichos marcos. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas (RCDF-04) permiten el uso de un Q = 4 para sistemas con contraventeo excéntrico, pero son muy ambiguas en cuanto a su diseño, pues presenta el siguiente párrafo: “Los requisitos para que los marcos dúctiles con contraventeos excéntricos tengan un comportamiento adecuado bajo acciones sísmicas importantes se establecen en la literatura especializada”.

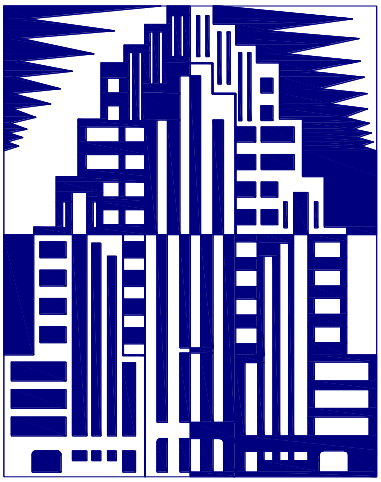
Se ha observado en años recientes que, durante los eventos sísmicos, los daños que han resultado más costosos han sido en los contenidos. Se da por hecho que las estructuras deben resistir un sismo de servicio sin sufrir grandes daños, y un sismo de diseño con posibles daños importantes; pero se debe prestar atención no sólo a las estructuras sino también a los bienes materiales que resguardan. Un movimiento del suelo se transmite a las estructuras provocando una serie de movimientos armónicos. A

su vez, los objetos dentro de los edificios reciben esos movimientos y presentan movimientos propios que pueden provocar o el desplazamiento o el volteo, en función del material de superficie y la relación alto ancho de la base. Cuantificar el nivel de daño que podría provocar un sismo en los contenidos de un edificio es un problema que involucra una cantidad mayor de variables, pues depende del tipo de estructura y del tipo de contenidos según su uso, por tanto, es un problema que resulta muy complejo. Sin embargo, con acciones sencillas como ajustar los objetos a la estructura se podría disminuir el nivel de los daños. Lo anterior es un ejemplo de las cuestiones que están involucradas dentro de un proyecto, y que deben estar presentes cuando se diseña una estructura, pues ésta no se debe analizar de forma aislada sino tomando en cuenta el entorno en el que se encontrará.

Finalmente, en la actualidad los ingenieros cuentan con herramientas de cálculo inimaginables hace 80 años, con las que se puede modelar el comportamiento de cualquier estructura, haciendo el proceso de diseño más rápido y con el poder para controlar más aspectos de diseño. Con elemento finito, se puede conocer la distribución de esfuerzos que actúa dentro de alguna parte de un sistema estructural, con el análisis de los efectos P-**Δ** se analiza el efecto de las cargas verticales en la configuración de la estructura deformada. Sin embargo, me parece que el uso de este tipo de herramientas se debe mesurar, pues con ellas se tiene una cantidad inmensa de variables que influyen en los resultados, y la brecha entre la estructura real y la modelada se abre más. Cada uno de los programas de cálculo tiene sus propias metodologías y sus propias consideraciones, aunque conducen a resultados similares. Sólo el uso constante de un programa puede hacer que el ingeniero conozca la teoría que hay detrás de la interfaz de usuario pero para eso, se necesita tiempo. Por otro lado, muchos de estos programas ofrecen una pobre visualización del modelo, y poca interacción con el usuario. Se genera una cantidad enorme de información con la que es fácil perderse, y para tratar esos datos se requiere del conocimiento de otros programas de cómputo. Al estudiar los métodos de cálculo usados en 1930 me quedó la sensación de que a pesar de que sus análisis hacían demasiadas simplificaciones, lograban un mayor entendimiento de las estructuras, y el edificio diseñado entonces aunque parcialmente desocupado, sigue en pie hasta nuestros días, lo cual significa que el diseño fue correcto y que algunos factores que provocaron el desplomo del edificio no se tomaron en cuenta. No sabemos si las estructuras que diseñamos ahora sean capaces de soportar el paso de 80 años.

Nuevas tendencias como los sistemas BIM (Building Information Modeling) tienen la intención de concentrar en un modelo inteligente todas las características de una construcción, permitiendo la interoperabilidad entre diversas plataformas y diversas entidades relacionadas con una construcción: arquitectos, estructuristas, constructores, operadores, administradores y propietario, con la única finalidad de agilizar el intercambio de información y analizar los diferentes escenarios antes de que la obra esté construida. Con un modelo detallado completo se pueden analizar secuencias de trabajos, logística de materiales, detectar interferencia entre los diversos elementos, programar y cuantificar la construcción, obtener una gran variedad de planos generales y de detalle de manera ágil y precisa pues todo parte del mismo modelo y cualquier cambio se ve reflejado automáticamente en las demás entidades. La intención del modelo es permanecer en todas las etapas del proceso constructivo, desde la planeación, proyección, construcción, operación y en su caso, hasta la demolición. Todo esto evidentemente tiene ventajas, evitándose errores comunes que suceden durante todo el intercambio de

información, con lo cual se puede evitar hacer el mismo trabajo más de una vez. Para que esa clase de tecnologías se adopten en México aún falta mucho, pues la forma de trabajo ha sido muy individual de cada una de las partes, y el cambiar a una mentalidad de trabajo en equipo lleva su tiempo, además de que se deben tener los recursos necesarios para un cambio de esa naturaleza.



ANEXOS

A. INAUGURACIÓN

INAUGURACIÓN DEL EDIFICIO "LA NACIONAL", EL MÁS MODERNO Y BELLO DE LA METRÓPOLI

El Universal. México D. F.
28 de diciembre de 1932

Vuelco de artística inspiración encauzada por sesudos conocimientos de la humana ciencia; reunión de voluntades y entusiasmo; aprovechamiento de materias primas con rítmica coordinación; alguna sangre generosa de bracero –el accidente de trabajo- que al escapar de borbotones, como sale un grito de aspiración a la libertad, vigorizaba las mezclas de cal y de arena, y de agua y de sudor humano.

Colmenar que asilará a la potencialidad del talento en las diarias actividades directoras de la vida urbana (financieros, abogados, ingenieros, médicos, aseguradores contra el fatal "cuarto de hora" en que llega el siniestro inevitable; comerciantes de elegantes y de cosas útiles.

Arcón moderno de acero y cemento; de granitos y de mármoles y cristales y bronces, fuerte alarde en lujo y confort. Total: un obsequio de fin de año que bien merece, para su satisfacción y que recibe con sereno orgullo la muy noble y leal ciudad de México-Tenochtitlán.

Lo anterior es síntesis de fuerte emoción recogida ayer en la visita rápida- ojo de reporteril investigación, algo cansado ya; pero que aún ve- al nuevo edificio "La Nacional", en cuya cima, pueden muellemente descansar las nubes que empuja hacia nosotros el "norte" costeño o albergar para el descanso de una noche a las aves transeúntes, golondrinas o ánades.

No faltarán, sin duda, críticas a esta especie de lírica expresión de un suceso que podría haber recogido victoriosamente la pluma cortesana del cronista de sociedad con más felicidad que la mía; pero ¿por qué no exteriorizar la emoción del arte propio como un desinteresado homenaje al grupo de arquitectos mexicanos que supieron aplicar a un hecho tangible los principios de verdad y de belleza en una fuerte expresión de arte plástica?

Va en seguida el relato cronológico de lo que vieron mis ojos pecadores. Cito desde luego el respaldo íntegro que alcanzó "La Nacional" al reclamo hecho a sus amistades. Lo más granado de México se citó para concurrir al acto inaugural del nuevo edificio de esa compañía de seguros sobre la vida. Y dejo como testimonio a quienes pudiesen dudar de esta afirmación las múltiples hojas de pergamino que recogieron las firmas ológrafas de quienes fueron a dar fe del fasto. Y aparte de aquellas personas cabezas de todos los negocios importantes de la capital en las diversas actividades o sectores en que está dividida, vi también a funcionarios públicos que asomaron por allí.

El presidente de la República estuvo representado por el Regente de la Ciudad a quien tocó hacer la declaratoria inaugural, después del descubrimiento de una placa de bronce con una inscripción conmemorativa.

EN EL GRAN VESTÍBULO

Aún se aspiraba el olor a mezcla húmeda dentro del gran vestíbulo del edificio decorado con granitos de Finlandia y mármoles italianos, cuando la servidumbre abrió las puertas. En el interior estaban los funcionarios de la compañía, para recibir a sus huéspedes, a saber: señores F. A. Williams, presidente y director general; Ernesto J. Amezcua, gerente; Alberto Altuzarra, Mario Domínguez, Gilberto Miranda, Ildefonso Franco, Luis F. Seoane, etc, etc.

Momentos después llegaron los miembros del Consejo de Administración, señores licenciado S. M. Cancino, Licenciado Miguel Gómez Morin, J. Rivero Quijano, licenciado Rafael Pardo, Carl Heynen, H. E. Rogers, A. B. Woodrow, ingeniero Jenaro P. García y R. D. Hutchinson.

En pocos instantes todo México potencial en el mundo de los negocios esperaba la llegada del representante del Primer Magistrado de la República, ausente de la metrópoli, en viaje de descanso. Llegó al filo de las doce y media.

A partir de este instante, puede afirmarse, comenzó el desarrollo de un discreto programa social. El señor licenciado Aarón Sáenz, acompañado por el señor Williams se acercaron sobre la alfarda de la escalinata en el vestíbulo del edificio, para que aquél descubriese la placa de bronce que consagra los nombres de los funcionarios de la Compañía y de los arquitectos que construyeron el edificio, señores Ortiz Monasterio, Calderón Caso, José Luis Cuevas y Luis Ávila. Fija asimismo, la fecha de ayer, 27 de diciembre del año de novecientos y treinta y dos, como el día inaugural.

Poco antes de que un velillo verde olivo que cubría la placa cayese arrancado por las manos del señor Sáenz, el Presidente de "La Nacional" pronunció una breve alocución, usando el idioma castellano.

En la belleza y severidad. De la decoración del edificio, enmarcaban la suya frágil la femenina concurrencia, muy numerosa por cierto.

Cuando el señor Sáenz descubrió la placa, dijo, siempre a nombre del Presidente, más o menos así: "En representación del señor Presidente de la República, declaro inaugurado el día de hoy el edificio de la Compañía de Seguros "La Nacional" y después las espirituales frases alentadoras y optimistas oportunas en el momento, aludiendo a la confianza actual que significa reconstrucción del país, y preparación para una vida mejor.

Hubo un aplauso de la concurrencia.

MAGNÍFICA NOTA DE ARTE

Aquello se transformó en una peregrinación de elegancias y de hombres de negocios, altos representantes de las fuerzas vivas, a través de los incontables peldaños de

granito; una ascensión suave, sin fatigas, agradable desde todos puntos de vista. En uno de los pisos había punto de reunión. Un grupo de artistas- lo mejor con que contamos – iniciaron concierto dilecto que resultó magnífico. Angel, Esquivel, Salazar, y muy distinguidas damas cantantes deleitaron por dos horas a la concurrencia.

A pesar del número de personas que concurrieron no llegó a sentirse pesadez en el aire a respirar, lo que demuestra que también en el renglón de las condiciones de higiene, el enorme bloque de acero y de cemento que ya es orgullo para la ciudad, los constructores cumplieron como los buenos.

Oí en varias de las salas el tintineo de cristales a la hora en que hubo para los invitados refrigerio. La animación crecía sin interrumpirse y la fiesta se prolongó por cerca de tres horas.

OJEADA INTERIOR

Este edificio monumental que por sus caracteres generales parece como una pirámide moderna, representa la realización, ya lo decía en las primeras líneas, de la potencia creadora del talento y también del esfuerzo de centenares de braceros mexicanos: carpinteros, electricistas, plomeros, pintores, marmolistas, brazos y cerebros que ejecutan e interpretan el pensamiento directriz. El edificio nació y creció como animado por un soplo superior. Allá en la planicie de Teotihuacán, está la pirámide legendaria que nos legó como herencia la vieja raza tolteca. Y se puede establecer el contraste de esfuerzos entre la joya de la nuestra arqueología patria, construida a brazo, con sus moles de pedernal y con su belleza ritual y majestuosa y esta pirámide moderna en la que el maquinismo superó a la eficacia del brazo; pero nunca a la respetuosa severidad de lo que se hizo como una religiosa ofrenda al Padre Tonathiu, el inmortal.

DEBE Y HABER CON LA NATURALEZA

De un folleto repartido entre los concurrentes por los empleados de la empresa, arranco algunos datos que podrían considerarse como el debe y el haber que figurase en el libro de "La Nacional", en su contabilidad con la naturaleza. Los datos curiosos son así:

EXCAVACIONES Y PILOTEADO:

Volumen de la excavación M3……	5,150
Peso de la tierra excavada Tons……	8,750
Número de pilotes hincados	373
Número de árboles usados..	2,100
Volumen de madera en piloteado M3……	580
Mínimo de golpes en un pilote……..	500
Máximo de golpes en un pilote……	1,400
Número de golpes dados por el martinete, aproximadamente (Masa de 500 kilos a una altura de 7 Mts. En promedio)……	300,000
Profundidad media de los pilotes Mts……..	31.5
Longitud total de los pilotes, kilómetros……	12

Se desmontó un área de 12 hectáreas de bosque o sea aproximadamente la superficie ocupada por la Alameda Central

CIEMIENTOS:

Peso del hierro empleado en la Cimentación, Tons…….	87
Longitud de la varilla de fierro empleado en los cimientos, kilómetros…….	35
Cantidad de madera empleada en los moldes de la cimentación, pies2……	60,000
Volumen de la Cimentación, M3……..	607
Tiempo empleado en la construcción de los cimientos, semanas……..	8

ESTRUCTURA:

Peso de la estructura, Tons.	500
Longitud total de las piezas de hierro estructural usadas, kilómetros……..	7
Número de remaches empleados……..	73,000

REVESTIMIENTO Y MUROS:

Longitud total de varilla en pisos y muros, Kilómetros….	375
Longitud de tubos conduit en las instalaciones……. eléctricas, kilómetros	3
Longitud de alambre usado en las mismas, kilómetros….	50
Cantidad de madera empleada en los moldes de muros y pisos, pies2……..	400,000
Volúem de concreto en los muros y pisos, M3……..	2,500

VENTANAS:

Número de ventanas……..	366
Superficie de ventanas, M2..	560
Número de puertas……	250

PISOS:

Superficie de pisos, M2……	8,100
Velocidad, pies por minuto (Un piso por segundo)…….	600
Número de puertas……	33
POBLACIÓN DEL EDIFICIO, personas……	600
POBLACIÓN FLOTANTE, personas……	3,000

DATOS GENERALES:

Área del terreno, M2……..	735
Peso del edificio, Tons……..	10,000
Altura, metros……	55
Área rentable del edificio M2……	5,200

El costo del edificio representado en plata, equivaldría a un cobo argentífero de 1.92 mt. por lado. El mismo costo representado en oro, equivaldría a un cobo áureo metal de 0.4 ctms. por lado.

Para cubrir la superficie del terreno con el número de pesos del costo se necesitarían tres capas de pesos y una de tostones. Y si se pusieran un peso sobre otro se formaría una columna de 5,280 metros, casi la altura del Popocatépetl, sobre el nivel del mar y 96 veces la altura del edificio inaugurado.

J.D.

DISCURSO DEL SR. WILLIAMS

La alocución con que el señor Williams saludó al señor Presidente de la República, representado por el señor licenciado Aarón Sáenz, fue como sigue:

"Como Presidente del Consejo de Administración de "La Nacional", Comañía de Seguros sobre la Vida, S. A. tócame el alto honor de dedicar este edificio a la ciudad de México y a toda la República Mexicana como signo de una gran confianza en los nuevos tiempos.

La desición de construir esta gran obra arquitectónica nació del deseo de ofrecer a todas las personas aseguradas en nuestra Compañía, una demostración palpable de la firmeza en nuestra institución, fincado en el corazón mismo de la urbe, el dinero confiado a nosotros, por considerar que dentro del programa de invertir en el país, l inversión debe ser hecha con todo

cuidado, para que su bondad garantice los interese de los asegurados.

El nuevo edificio no significa tan sólo una valiosa contribución al desarrollo económico del país, desde su concepción hasta su completa realización- que hoy festejamos con legítimo orgullo- nuestra Compañía se esforzó porque, a la par que un positivo valor comercial, el nuevo edificio fuera un capítulo más para la historia de la belleza arquitectónica de la gran Tenochtitlán y llenara una función de utilidad social.

Grande ha sido el esfuerzo desarrollado por todos los hombres que tomaron parte de esta obra, desde los arquitectos que la diseñaron, sin olvidar a los obreros que con riesgo de la vida trabajaron sobre el espacio levantando la gran estructura férrea. Todos y cada uno pusieron su mejor voluntad y su mayor inteligencia al servicio de la obra. Nada se descuidó; ningún detalle se dejó al azar.

Al dedicar este edificio, que simboliza en una buena parte la vida institucional de nuestra Compañía y su constante deseo de dar al público mexicano un servicio de Seguros tan perfecto como es posible dentro de los sistemas más modernos y ventajosos, quiero afirmar con honda satisfacción que esta obra arquitectónica, nuevo punto de referencia en el gran mapa de la metrópoli, es el resultado de la confianza del público en las instituciones serias y eficientes.

Antes de dar principio al brece programa que con este plausible motivo se llevará a cabo, quiero expresar a nombre del Consejo y Jefes de esta Compañía, nuestro sincero agradecimiento hacia todas las personas que directa o indirectamente han contribuido con sus esfuerzos para llevar a cabo tan magna obra y con tan buen éxito:

A los señores arquitectos Monasterio, Calderón y Ávila; a nuestro Arquitecto Consultor señor José Luis Cuevas; a todas aquellas personas que de cualquier manera hayan tenido participación en el embellecimiento de nuestro edificio y, por último, a los abnegados obreros mexicanos no menos dignos de elogio.

El señor licenciado Aarón Sáenz, quien nos honra en estos momentos en nombre del señor Presidente de la República y con su propia personalidad como Jefe del Departamento Central, descubrirá la placa conmemorativa, quedando con este acto inaugurado el edificio, terminando la ceremonia con la lectura del acta respectiva por el señor licenciado Rafael Pardo, Secretario de la Compañía, después de lo cual quedan ustedes invitados a visitar el edificio de cuya terminación nos enorgullecemos."

[…]

Desde las quince hasta las diecisiete horas, el público visitó libremente el edificio.

FUE INAUGURADO EL HERMOSO EDIFICIO DE "LA NACIONAL"

Excélsior. México DF. Miércoles 27 de diciembre de 1932.

Significativa ceremonia fue la hecha ayer.

El Lic. Sáenz Asistió con la representación del Presidente Rodríguez.

Atendiendo la cortés invitación que en elegantes esquelas distribuidas profusamente con anterioridad, hizo el Consejo de Administración de "La Nacional" Compañía de Seguros sobre la Vida a sus numerosos amigos para que asistieran a la inauguración de su edificio ubicado en la esquina suroeste de las calles de San Juan de Letrán y Avenida Juárez, desde poco antes de las doce horas comenzó a llegar al local una selecta concurrencia formada por damas y caballeros de los altos círculos de negocios y sociales de esta ciudad.

A las doce horas eran ya muchos centenares de asistentes los que llenaban el "hall" y los que se habían distribuido por todo el edificio, inclusive a los pisos superiores y a las terrazas. A los que dan acceso las elegantes escaleras de mármol negro y lo facilitan los rápidos elevadores con que ha sido dotado el edificio.

De las terrazas superiores se contempla admirablemente el maravilloso espectáculo del Valle de México, y el panorama de la ciudad en toda su extensión, por lo que fue el sitio favorito de los visitantes que se anticiparon a la hora de la ceremonia, habiéndose improvisado un baile al compás de las reproducciones de un radio instalado en aquél sitio.

Pocos minutos antes de las doce horas, una ruidosa salva de aplausos anunció la llegada del licenciado Aarón Sáenz, Jefe del Departamento del Distrito Federal, quien llevaba la representación personal del ciudadano Presidente de la República, para asistir al acto de la inauguración.

Los recibieron los miembros del Consejo de Administración y momentos después hizo uso de la palabra el presidente del mismo, señor F. A. Williams, quien produjo una breve alocución cuyos conceptos giraron en torno de la significación que tenía por cuanto a la confianza que la compañía inspira el país, y a la que debe inspirar a los clientes de "La Nacional," la construcción de una obra de la importancia de la que se estaba inaugurando.

Dio las gracias al licenciado Sáenz en su calidad de representante del general Rodríguez y por su propia representación por haber asistido al acto contestando el aludido con frases encomiásticas para la Compañía y sus progresos, y subrayando también lo que significa en materia de confianza y garantía, para el país y para los clientes de la negociación, la costosa obra levantada, ornato y utilidad para la capital y signo elocuente de la solvencia y fuerza económica de la Compañía.

[…]

Terminó el acto oficial con el descubrimiento de una placa de bronce en la que se halla inscrita la fecha de la inauguración del local, y los nombres de los altos funcionarios administrativos y miembros del Consejo.

En seguida fue invitada la concurrencia a pasar al cuarto piso, en donde se hallaba instalada una excelente orquesta dirigida por el profesor Jesús Camacho Vega, ejecutándose selectos números de concierto en los que tomaron parte solistas y cantantes.

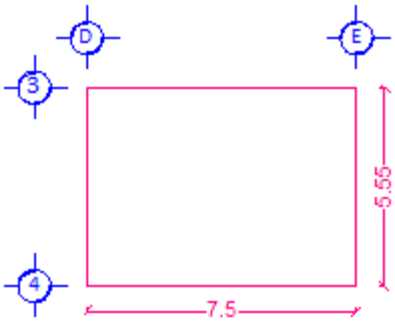
Más tarde se permitió el acceso libre al público, siendo numerosas las personas que acudieron a visitar el sobrio y suntuoso edificio, cuyos locales han sido ya contratados casi en su totalidad por importantes negociaciones de esta capital.

B. CÁLCULO DE LOSAS

El método que se usó para el cálculo de losas fue el desarrollado por el Dr. H. Marcus en Alemania, el cual consiste en subdividir la losa en dos franjas perpendiculares, paralelas a los lados de la losa. A continuación se muestra el cálculo de un tablero tipo del edificio.

Peralte

Para este cálculo se considera el tablero cuya longitud es l más grande, esto es, el que se encuentra limitado por lo ejes DE34. La carga a considerar es la de 250 kgf/cm² de l CV y una SCM de 105 kgf/cm²



$$w := 355 \ \frac{kgf}{m^2} \qquad L := 7.5 \ m$$

$$M := \frac{w \cdot L^2}{8} = 2496.094 \qquad ton \cdot m$$

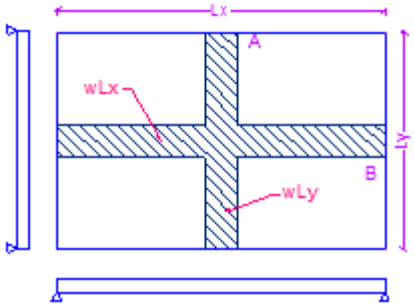
El peralte máximo está definido por la siguiente expresión: $d = 0.3702 \cdot \sqrt{\frac{M}{100}}$

$$d := 0.3702 \cdot \sqrt{M} = 18.496 \qquad cm$$

de aquí que se toma un peralte efectivo de 20 cm para todas las losas

Momentos

Suponiendo que se tiene una losa como la de la figura, la cual se encuentra apoyada en sus cuatro lados y que lleva una carga por unidad de área igual a W. Los claros son l y L respectivamente. En el supuesto de que la losa se apoyara solamente en los lados chicos el momento sería:



Momento en la dirección X $M_x = \frac{W \cdot L_x^2}{8}$

y si en lugar de encontrarse apoyada por los lados chicos fuese por los lados grandes, su momento sería:

$$M_y = \frac{W \cdot L_y^2}{8}$$

Si se considerara ahora apoyada en los cuatro lados y que la carga se encuentre repartida en las dos series de franjas A y B, y en tal forma que la deflección en el centro de las dos franjas que se cruzan en el centro sean iguales, tendríamos que:

$W = W_x + W_y$ Donde: W_x : carga que llevan las fajas en la dirección x

W_y : carga que llevan las fajas en la dirección y

dado que las deflexiones son iguales:

$$\frac{5}{384}\cdot\frac{W_x\cdot L_x^{\,4}}{E\cdot I_x}=\frac{5}{384}\cdot\frac{W_y\cdot L_y^{\,4}}{E\cdot I_y}$$

suponiendo que $I_x = I_y$ entonces $W_x\cdot L_x^{\,4} = W_y\cdot L_y^{\,4}$

$W_y = W - W_x$

$$W_x\cdot L_x^{\,4} = (W - W_x)\cdot L_y^{\,4}$$

$\varepsilon = \frac{L_y}{L_x}$

$$W_x = (W - W_x)\cdot \varepsilon^4$$

$$W_x\cdot(1+\varepsilon^4) = W\cdot\varepsilon^4$$

$$W_x = \frac{W\cdot\varepsilon^4}{(1+\varepsilon^4)}$$

de forma similar $W_x = W - W_y$

$$W_x\cdot L_x^{\,4} = W_y\cdot L_y^{\,4}$$

$$(W - W_y)\cdot L_x^{\,4} = W_y\cdot L_y^{\,4}$$

$$(W - W_y) = W_y\cdot\frac{L_y^{\,4}}{L_x^{\,4}}$$

$$(W - W_y) = W_y\cdot\varepsilon^4$$

$$W = W_y\cdot\varepsilon^4 + W_y$$

$$W_y = \frac{W}{1+\varepsilon^4}$$

Marcus propone unos factores para corregir el momento de los extremos y obtener así el momento al centro se define como

$$C = 1 - \frac{5}{18}\cdot\frac{\varepsilon^2}{1+\varepsilon^4}$$

para el caso de una losa empotrada, se procede de forma similar y se encuentra que los momentos en los apoyos para una losa empotrada son

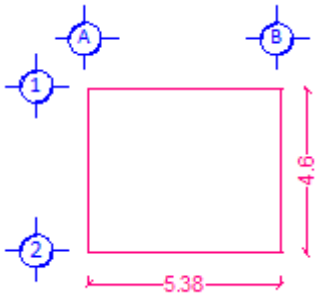
$$m_x = \frac{L_x^{\,2}\cdot w_y}{12} \qquad m_y = \frac{L_y^{\,2}\cdot w_x}{12}$$

y al centro, multiplicados por el factor de Marcus, los mementos son:

$$M_x = \frac{C\,L_x^{\,2}\cdot w_y}{12} \qquad M_y = \frac{C\,L_y^{\,2}\cdot w_x}{12}$$

Ejemplo de la losa limitada por los ejes AB12

$W := 630 \ \frac{kgf}{m^2}$ $L_x := 5.38 \ m$ $L_y := 4.6 \ m$



La relación entre los lados es:

$$\varepsilon := \frac{L_x}{L_y} = 1.17$$

El peso en la dirección x es:

$$w_x := \frac{W \cdot \varepsilon^4}{\left(1 + \varepsilon^4\right)} = 410.572 \quad \frac{kgf}{m^2}$$

El peso en la dirección y es:

$$w_y := \frac{W}{1 + \varepsilon^4} = 219.428 \quad \frac{kgf}{m^2}$$

El coeficiente de Marcus es:

$$C := 1 - \frac{5}{18} \cdot \frac{\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^4} = 0.868$$

Momento en los apoyos y al centro del claro en la dirección X

$$m_x := \frac{L_x^2 \cdot w_y}{12} = 529.267 \quad tonf \cdot m \qquad M_x := \frac{C \cdot L_x^2 \cdot w_y}{24} = 229.611 \quad tonf \cdot m$$

Momento en los apoyos y al centro del claro en la dirección Y

$$m_y := \frac{L_y^2 \cdot w_x}{12} = 723.976 \quad tonf \cdot m \qquad M_y := \frac{C \cdot L_y^2 \cdot w_x}{24} = 314.082 \quad tonf \cdot m$$

Con estas consideraciones se hizo el análisis para todas las losas.

C. DISEÑO POR VIENTO

a) Velocidad de Diseño

La velocidad de diseño es función de la altura z y se define como:

$$V_D(z) = F_{TR} \cdot F_\alpha(z) \cdot V_R$$

Donde:

F_{TR} es el factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante;

F_α factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura;

V_R velocidad regional según la zona que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura

- *Velocidad Regional*

$V_R := 36 \frac{m}{s}$ correspondiente a la delegación Cuauhtémoc, para una construcción del tipo B

- *Factor de variación de la velocidad con la altura*

Tipo de terreno **R4**, Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m

Factores de rugosidad del terreno $\alpha := 0.17$ $\delta := 455$

$$F_\alpha(z) := \begin{cases} 1 & \text{if } z \le 10 \\ \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha & \text{if } 10 < z < \delta \\ \left(\frac{\delta}{10}\right)^\alpha & \text{if } z \ge \delta \end{cases}$$

- *Factor correctivo por topografía*

Tipo de topografía **T2**, Valles Cerrados, para un terreno tipo R4 $F_{TR} := 0.82$

Así, por ejemplo, para la altura máxima que es de 55.4 m, la velocidad de diseño sería:

Velocidad de diseño para una altura de 55.4 m $z := 55.4$ m

$\alpha = 0.17$ $\delta = 455$

$V_R = 36 \frac{m}{s}$ $F_{TR} = 0.82$ $F_\alpha(z) = 1.338$

$$V_D(z) = 39.492 \frac{m}{s}$$

El valor de la Velocidad de Diseño se graficó en la figura III.12.

b) Presión de diseño

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una estructura se determina de acuerdo a las NTC-V como:

$$p_z(z) = 0.048 C_p \cdot V_D(z)^2$$

Donde:

C_p : coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura; y

V_D : velocidad de diseño a la altura Z

Así por ejemplo, para la altura máxima que es 55.4m, la presión del viento sería:

Presión de diseño para una altura de 55.4 m $z := 55.4 \ m$

$V_D(z) = 39.492 \ \frac{m}{s}$ $C_P := 0.8$ $p_z(z) = 59.89 \cdot \frac{kgf}{m^2}$

Bibliografía

- BARBARÁ Z. Fernando. (1955). Materiales y procedimientos de construcción. México: Sociedad de Arquitectos Mexicanos y Colegio Nacional de Arquitectos. 596 p.
- BIRKMIRE, William Harvey. (1900). *Architectural Iron and Steel and its application in the construction of buildings.* Ney York. John Willey & Sons. p71.
- DE ANDA, Enrique X (Coordinador) (2001).. Ciudad de México, *Arquitectura. 1921-1970.* México/Sevilla. 388 p.
- DE ANDA, Enrique de. (2005). *Una mirada a la arquitectura mexicana del siglo XX*. México: Arte e Imagen. 204 p.
- GARCÍA Quintana, Josefina y ROMERO Galván, José Rubén. (1978). *México Tenochtitlan y su problemática lacustre*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Históricas. (Cuaderno. Serie Histórica, 21)
- GLANCEY, Jonathan, *Historia de la arquitectura*. 1ª edición en español. México: Editorial Planeta. 240 p
- GOROSTIZA, José. (2007) *El Palacio de Bellas Artes. Edición Facsimilar de El Palacio de Bellas Artes / informe que presentan al señor Ing. Marte R. Gómez, Secretario de Hacienda y Crédito Público los directores de la obra, señores Ing. Alberto J. Pani y Arq. Federico Mariscal*. México: Instituto Nacional de Bellas Artes. 144 p.
- GUZMÁN, Arturo. *En concreto*. México. IMCYC. 262 p.
- HUXTABLE, Ada Louise, El Rascacielos. MADRID: Nerea. 127 p.
- KATZMAN, Israel. (1964). *La arquitectura contemporánea mexicana : Precedentes y desarrollo*. México: INAH. 205 p.
- KURRER, Karl-Eugen. (2012).*The History of the Theory of Structures*. John Wiley & Sons. 848 p.
- LEÓN López, Enrique G. (1974) *La Ingeniería en México.* México: SEP. 190 p
- MARQUINA, Ignacio. (1951) *Arquitectura Prehispánica*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia. 1055 p.
- MARSAL, Raúl J. y MAZARI, Marcos. (1959). *El subsuelo de la Ciudad de México*. México: UNAM, Facultad de Ingeniería. 2 volúmenes.371 p.
- MARSH, Charles F., DUNN, William. (1909). *Reinforced Concrete*, New York: D. Van Nostrand Company, p. 1,2.
- MARTINEZ Gutiérrez, Patricia. (2005) *El palacio de Hierro arranque de la modernidad arquitectónica en la Ciudad de México*. México: Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM. 159 p.
- MOOSER, Federico (1961). *Informe Sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y Zonas Colindantes*. México: Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. 99 p.
- MOOSER, Federico (1956). *La Cuenca de México*. Consideraciones Geológicas y Arqueológicas. 51 p.
- MOOSER, Federico. (1986). *Características geológicas y geotécnicas del valle de México*. Serie 100 kilómetros del Metro. México: SGODF. 31 p.
- MUNAL (1997). *Art Deco: Un País Nacionalista, Un México Cosmopolita* México: MUNAL. 205 p.

- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004). Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- SÁNCHEZ MEJORADA DE GIL, Alicia. (1990). *La Columna de la Independencia*. México: Editorial Jilguero. 96 p.
- SANDOVAL, Pablo de Jesús y ORDÓÑEZ, José. (1938) *La Catedral Metropolitana de México*. México: Ediciones Victoria. 206 p.
- SANTOYO, Enrique (2005). *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. México: TGC. 171 p.
- SEDESOL. (1992). *La Catedral Metropolitana y el Sagrario de la Ciudad de México, correcciones del comportamiento de sus cimentaciones*. México:SMMS. 70p.
- TELLEZ Pizano, Adrián. (1899) *Apuntes acerca de los cimientos de los edificios de la Ciudad de Mexico.* México: Imprenta del Gobierno Federal en el Ex-Arzobispado. 90 p.
- TERRANOVA, Antonio. Rascacielos. España: Ediciones Librería Universitaria. 305 p.
- TOCA, ANTONIO (1982): Arquitectura posrevolucionaria en México 1920-1932, en *Apuntes para la historia y crítica de la arquitectura mexicana del siglo XX*. I. México: Cuadernos de arquitectura y conservación del patrimonio artístico. p. 47-66
- ZEEVAERT, (1988) *Sismo-Geodinámica de la Superficie del Suelo y Cimentación de edificios en la Ciudad de México*. México: (editorial no identificada). 1ª Edición. 240 p

- Revistas y periódicos

- NEGRETE, Claudia. *El edificio Gore y la fotografía Marst* en la revista *Alquimia*, Año 3, Núm.7, sep/dic 1999.
- *CEMENTO*, Comité para propagar el uso del cemento Portland. Núm. 2. Febrero 1925.
- *Excelsior*, 28 de diciembre de 1932.
- *POPULAR MECHANICS*, México City is sinking. Noviembre 1949.
- *El Universal*, 28 de diciembre de 1932.

- Internet.

http://losprotagonistashjgdoc.blogspot.mx/2009/06/edificios-de-hoja-de-lata.html [Última visita el día 28 de noviembre de 2013]
http://www.romanconcrete.com/docs/spillway/spillway.htm [Última visita el día 27 de octubre de 2013]
http://inventors.about.com/library/inventors/blconcrete.htm [Última visita el día 27 de octubre de 2013]
http://uzes.blogs.midilibre.com/tag/monier [Última visita el día 27 de octubre de 2013]
http://engineersoutlook.wordpress.com/2011/10/11/structural-concrete-design/ [Última visita el día 27 de octubre de 2013]
http://www.reluis.it/doc/pdf/normative/FEMA273/ch05.pdf [Última visita el día 2 de agosto de 2013]

http://discursovisual.cenart.gob.mx/anteriores/dvwebne06/imagenes/pages/apo_3-2.html

Lista de imágenes y figuras

Figura I.1 Morfología general de la cuenca del Valle de México. OMG, 2013 11
Figura I.2 Eventos geológicos y estratigrafía típica de la superficie lacustre de la Ciudad de México 12
Figura I.3 Zonificación Geotécnica del Valle de México de acuerdo con el RCDF-04 17
Figura I.4 La Nacional, el primer rascacielos en México. 1932. 18
Figura I.5 Vista idealizada de la cuenca del Valle de México ca. 1521. Tomas Filsinger, 2009 19
Figura I.6 Tlatelolco: Ruinas del antiguo centro ceremonial, Iglesia de Santiago Tlatelolco, finales del siglo XVI, Conjunto Urbano Nonoalco-Tlatelolco, 1964. OMG, 2013. 20
Figura I.7 Claustro del convento de La Merced, construido a finales del siglo XVII. OMG, 2009 21
Figura I.8 Detalle del mural en el Hospital de Jesus, donde se aprecia un hombre con el tlahtölli y un águila que recuerda la fundación de la Ciudad de México. OMG, 2009 21
Figura I.9 Colegio de minería a mediados del siglo XIX. Estilo neoclásico. 23
Figura I.10 Litografía que muestra el proyecto original de Lorenzo de la Hidalga para el Monumento a la Independencia. Tomado de ref. 29 24
Figura I.11 Trabajos finales del palacio de Bellas Artes. *Revista de revistas*, Enero 1932. 25
Figura I.12 Edificio *Gore*, conocido también como *Hoja de Lata* ca. 1911-1934. *Alquimia*, Septiembre de 1999. 26
Figura I.13 La Nacional. ca. 1934. El automóvil formaba parte de la vida cotidiana. 28
Figura I.14 Pilotes de madera utilizados como cimentación encontrados en el Templo Mayor de la Ciudad de México. OMG, 2013. 29
Figura I.15 Penitenciaría del Lecumberri. 1901. OMG, 2013. 30
Figura I.16 Bosque de pilotes de concreto para cimentar el Angel de la Independencia. 1908. 31
Figura I.17 Palacio de Hierro (izq.) y Casa Boker (der.), edificios cimentados con un sistema de emparrillado de acero. 31
Figura I.18 Antiguo Teatro Nacional (Antes Santa Anna), cimentado con un cajón de arena (demolido). ..32
Figura I.19 Uso de bóvedas inversas en la Unidad Habitacional Nonoalco - Tlatelolco (1964) 32
Figura I.20 Edificio del Banco de Londres y México. OMG 2013. 33
Figura I.21 Edificio de la Lotería Nacional. 1949. Tomado de ref. 40 34
Figura I.22 Esquema de un pilote de control. OMG 2013. 34
Figura I.23 Edificio Guardiola, de Carlos Obregón Santacilia. 1938. OMG 2013. 35
Figura I.24 Edificios de la Escuela de Chicago. A la izquierda, la Av. Wabash con el *Loop* central. Al centro, el *Relliance Bulding* en la esquina de Washington St. y State St., a la derecha, el mismo edificio durante su construcción. 1894. (OMG 2012, Ref. 44) 37
Figura I.25 New York City. Midtown Manhattan en 1930. Se aprecia el Chrysler Building al centro. Tomado de El Universal, febrero, 1930. 38
Figura I.26 *Skyline* o vista general de la ciudad de Nueva York en 2012. Empire State Building y Chrysler Building dominan la vista del centro de Manhattan. OMG (2012) 39
Figura I.27 Chrysley Building. Tomado de El Universal, Julio de 1930. 40
Figura I.28 Empire State Building, a poco tiempo de su inauguración. El Universal, 1932. 40
Figura I.29 Tres periodos en la arquitectura de México. OMG, 2013. 41

Figura I.30 Anuncio Tolteca en Excélsior. Diciembre 1932 43
Figura I.31 Portada de la revista *Cemento*, mayo y noviembre, 1929. 44
Figura I.32 Portada de la Revista Tolteca. Número 22, Marzo, 1929. 44
Figura I.33 Pilares de concreto en la Porte *d'Honneur* de la *Exposition internationale des arts décoratifs et industriels modernes de 1925.* Revista *Cemento*. Febrero de 1926. 45
Figura I.34 *Art Déco*. Lámpara en La Nacional, Escultura del Monumento a la Revolución. Columnas en el Parque México. OMG, 2013. 46
Figura I.35 Puerta de acceso al edificio La Nacional. OMG, 2013. 47
Figura I.36 Puerta de uno de los elevadores del edificio La Nacional, OMG, 2013. 49
Figura I.37 Detalle de escaleras. Edificio La Nacional. OMG, 2013. 49
Figura I.38 Vizcaínas 12 y 14 (1922), Edificio LACOMSA (ca. 1940), Central de Ferrocarril de San Luis Potosí (1936) Edificio La Marsicala (1950), del arquitecto Manuel Ortiz Monasterio. OMG, 2013, JMR, 19??. 51
Figura I.39 Invitación de la Compañía de Seguros La Nacional a la Inauguración de su edificio. El Universal, 1932. 52
Figura I.40 Asegurado, Excélsior. 1932 53
Figura I.41 Burlesco. El Universal, Diciembre 1932. 53
Figura I.42 Francisco Rodríguez Caracalla, *Concreto*, 1935. 54
Figura II.1 Localización del edificio La Nacional en el Centro Histórico de la Ciudad de México 55
Figura II.2 Fachadas edificio 'La Nacional' 56
Figura II.3 Avenida Juárez Ca. 1920. De der. a izq. Casa Guardiola con su respectiva plaza, Casa de los Azulejos, Edificio de Seguros Latinoamericana y edificios anteriores a la construcción del edificio La Nacional 57
Figura II.4 Perfil Estratigráfico del edificio 'La Nacional' 59
Figura II.5 Medición de elementos estructurales en La Nacional. 60
Figura II.6 Imágenes de la estructura de acero del edificio La Nacional el 11 de diciembre de 1931. Fotografías de Guillermo Kahlo, Archivo del Parque Fundidora 61
Figura II.7 Hundimiento en Catedral, Palacio de Minería y Alameda Central durante el siglo XX. 62
Figura II.8 Tesis sobre la Lotería Nacional de Manuel González Flores, 1935 (Der) y Manual de la Cia. Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, 1930 (Izq) 63
Figura II.9 Zonificación Geotécnica conforme al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004 66
Figura II.10 Detalle de la entrada al edificio La Nacional 67
Figura II.11 Detalles de ventanas en fachada y torreta de remate del edificio La Nacional 68
Figura II.12 Fachada Norte del edificio *La Nacional*, dividida en 4 secciones. 68
Figura II.13 Detalle del relieve de fachada del edificio La Nacional 69
Figura II.14 Interior de la cúspide en La Nacional. 69
Figura II.15 Detalle del seguro instalado en las ventanas de La Nacional. 70
Figura II.16 Propuestas para el edificio La Nacional II. Arriba: Sup izq, Alonso Mariscal; sup der Enrique Yañez; inf. izq. Enrique de la mora; inf. der. Mario Pani. Abajo, ambos edificios construidos. Circa 1953. . 71
Figura II.17 Plantas de Niveles NPS, NPB, N01 y N02, OMG 2013. 72
Figura II.18 Plantas de niveles N03, N04, N05 y N06. OMG 2013. 73
Figura II.19 Plantas de niveles N11, N12, N13, NA1 y NA2. OMG, 2013. 74

Figura II.20 Plantas de niveles N11, N12, N13, NA1 y NA2. OMG, 2013. 75
Figura III.1 Modelo tridimensional en el Software Revit Structure 77
Figura III.2 Detalle de la construcción de la estructura de La Nacional en el que se puede apreciar las tornapuntas usadas en algunas vigas. 78
Figura III.3 Detalle que muestra los marcos de acero formados por columnas con celosía y vigas de perfiles I 79
Figura III.4 Armado de losa tipo para el edificio La Nacional 80
Figura III.5 Distribución de áreas tributarias para el cálculo de los perfiles de acero 81
Figura III.6 Propiedades Geométricas de las secciones usadas para el diseño del edificio La Nacional. 86
Figura III.7 Espectro de diseño para el edificio La Nacional. RCDF-04, OMG, 2013 94
Figura III.8 Velocidad del viento en el edificio La Nacional. 100
Figura IV.1Plano de trabes y columnas del diseño de 1930. OMG 2013. 102
Figura IV.2 Plano de trabes y columnas del diseño de 1930. OMG 2013. 103
Figura IV.3 Plano de trabes y columnas del diseño de 1930. OMG 2013. 104
Figura IV.4 Primeros tres modos de vibrar de la estructura. OMG, 2013. 106
Figura IV.5 Planta de la zona crítica para revisión de deflexiones. OMG, 2013. 108
Figura IV.6 Isométrico de deformaciones. OMG, 2013. 111
Figura IV.7 Deformaciones en el edificio La Nacional, 1930. OMG. 2013 112
Figura IV.8 Revisión de estados límite de falla. 1930. OMG, 2013 115
Figura IV.9 Revisión de estados límite de falla, 1930. OMG, 2013. 116
Figura IV.10 Plano de trabes y columnas. Diseño 2013. 118
Figura IV.11 Plano de trabes y columnas. Diseño 2013. 119
Figura IV.12 Plano de trabes y columnas. Diseño 2013. 120
Figura IV.13 Elevaciones: Ubicación de contravientos. Diseño 2013. 121
Figura IV.14 Modos de vibrar y periodos para el diseño de 2013 de La Nacional. 123
Figura IV.15 Elementos revisados por estado límite de servicio. 124
Figura IV.16 Revisión de estados límite de falla, diseño 2013. 130
Figura IV.17 Revisión de estados límite de falla, diseño 2013. 131
Figura IV.18 Espectros de diseño sísmico según el RCDF-04, OMG, 2013. 136
Figura IV.19 Distancias para la ubicación de remaches en secciones I y canal. OMG, 2013. 139
Figura IV.20 Detalle de una conexión por remachar. 140
Figura IV.21 Remachado a mano y con pistola. 140
Figura IV.22 Detalles de conexiones y columnas propuestas en el Manual Monterrey. 141
Figura IV.23 Detalles de diversas conexiones rígidas trabe-columna. Arriba conexión con placas; medio, conexión con nervaduras; abajo, conexión hueso de perro (Dog-bone). OMG, 2013. 142
Figura IV.24 Recubrimiento para efectos del fuego en columnas. 143