

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Arquitectura

ESTUDIO SOBRE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES
DE LAS EDIFICACIONES EN GUATEMALA

The seal of the Academia de Arquitectura de Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a personification of architecture or a historical figure, seated and holding a staff. The figure is surrounded by various architectural elements, including columns, arches, and a lion. The Latin motto "SCIENTERAS ORBIS COMITIA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER" is inscribed around the perimeter of the seal. The words "PLUS" and "ULTRA" are also visible on banners within the seal.

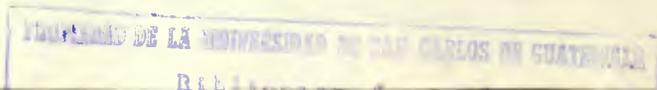
Trabajo de Tesis
que al conferírsele
el título de

ARQUITECTO

Presenta

PUBLIO ALCIDES RODRIGUEZ LOBOS

Guatemala, noviembre de 1988.



DL
02
T(401)

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano: Arq. Eduardo Aguirre C.
Secretario: Arq. Heber Paredes N.
Vocal primero: Arq. Marco Antonio Rivera
Vocal segundo: Arq. Hector Castro M.
Vocal tercero: Arq. Rafael Bran Herrera
Vocal Cuarto: Br. Arnoldo Morales S.
Vocal quinto: Br. Erwin Santizo M.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN PRIVADO

Decano: Arq. Eduardo Aguirre C.
Secretario: Arq. Heber Paredes N.
Examinador: Arq. Miguel Angel Sea.
Examinador: Ing. Vicente Mazariegos.
Examinador: Arq. Hugo Meza.

Asesor de Tesis: Arq. Jorge Escobar Ortiz.

DEDICATORIA Y RECONOCIMIENTO

A DIOS:

Por hacerme sentir en cada momento y circunstancia de la vida, la necesidad de su presencia en mi ser. Por permitirme intuir la dimensión de su existencia.

A mis padres:

Guillermo Rodríguez A.
Thelma Lobos de Rodríguez.

Por su esfuerzo, dedicación y apoyo para el cumplimiento de mis ideales. Por su ejemplo.

A mis hermanos y sobrinos:

Por su respeto, cariño e incondicional ayuda en todo momento.

A mis familiares y amigos:

Por su interés y aprecio manifestado.

A mi novia:

Por su especial cariño y estímulo.

A las instituciones, empresas y personas que me facilitaron el material de estudio, en especial a Ninette Fonseca de León:

Por su confianza y paciencia.

A: Ing. Inf. Raul Sum
Arq. Inf. Denisse Stuhlhofer
Lic. Fernando Rodríguez
Arq. Inf. Alma Irene Hernández
Arq. Inf. Ernesto Estrada

Por su colaboración en las tareas de graficación, fotografía y diseño de portada que enriquecen el presente.

A: Arq. Jorge Escobar Ortiz.

Por sus conocimientos y tiempo brindados en el asesoramiento. Por su ejemplo de profesionalismo

INDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	1
2. Conceptos Básicos del Análisis Estructural	7
2.1 Definición de Estructura	7
2.2 Objetivo de Las Estructuras Arquitectónicas	7
2.3 Tipos de Cargas que afectan las Estructuras	7
2.4 Estados Básicos o esfuerzos en las estructuras	9
2.5 Requisitos Básicos de las Estructuras	11
2.6 Los Materiales Utilizados en las Estructuras	12
3. Los Sistemas Estructurales	15
3.1 Estructuras Trianguladas	15
3.2 Estructuras Funiculares	22
3.3 Estructuras Laminares	23
3.4 Estructuras Masivas	27
3.5 Estructuras Verticales	31
4. Descripción y Análisis de las Edificaciones.	
- Consideraciones Preliminares	33
- Edificios estudiados:	
+ Gimnasio Típico C.D.A.G.	34
+ Templo Católico de San Judas Tadeo	39
+ Auditorio de la Fac. de Agronomía. USAC.	43
+ Aeropuerto Internacional "La Aurora"	48
+ Edificio de Telecomunicaciones "Vista Hermosa"	53
+ Rectoría USAC.	58
+ Edificio de la Fac. Arquitectura USAC.	64
+ Edificio IBM de Guatemala	68
+ Edificio del Ministerio de Finanzas	73
+ Edificio COGEFAR	78

5. Cuadros Síntesis	84
6. Conclusiones	89
7. Recomendaciones	92
7.1 A Nivel Académico	92
7.2 A Nivel Profesional	93
8. Bibliografía	94
8.1 Libros Consultados	94
8.2 Tesis Consultadas	95
8.3 Folletos, Documentos y Revistas consultadas	95
8.4 Fuentes de Información	95

1. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCION

A consecuencia del constante desarrollo de la ciencia y la tecnología y por la especialización del conocimiento que ello ha significado, hoy mas que nunca la actividad o que-hacer del arquitecto demandan de éste una formación de carácter integral que lo capacite para orientar y coordinar el trabajo multiprofesional que el desarrollo de un proyecto arquitectónico exige. En ese sentido, el arquitecto contemporáneo debe estar familiarizado con la Historia, Sociología, Psicología, Ingeniería, la Estética y en términos generales con el planeamiento.

Podría decirse que en la actualidad, el proyecto arquitectónico ha dejado de ser una obra cuya producción es un acto independiente y exclusivo de una mente creadora, lo que naturalmente no contradice el hecho de que siempre haya tenido y tenga un auténtico y único responsable: El Arquitecto.

El presente trabajo adentra en una de las disciplinas de capital importancia en el campo de la Arquitectura: Los sistemas estructurales. Con la idea de ordenar previamente las actividades que el estudio contempla, se formuló un plan de investigación, cuyos elementos más importantes fueron definidos así:

Marco Teórico:

El objeto arquitectónico (el edificio específicamente) está constituido por muchos elementos, entre ellos: las instalaciones eléctricas, las instalaciones hidráulicas y sanitarias, las instalaciones especiales, la obra de acabados y las estructuras. Todos juntos determinan la funcionalidad y aspecto formal de la edificación, sin embargo, la estructura es el elemento esencial en virtud de que aunque ella sola no es Arquitectura, sí la sustenta y hace posible. Vale decir que sin la estructura que mantiene y delimita el espacio habitable, las instalaciones y demás elementos serían inútiles.

En ello se fundamenta la preponderante importancia que el conocimiento de los principios estructurales tienen en la formación del arquitecto contemporáneo, quien debe tener presente que el manejo de métodos y técnicas de cálculo estructural son materia del especialista estructu-

ral y que sin embargo, la concepción formal/espacial y por lo tanto estructural son de su responsabilidad y competencia.

La función de ambos es indispensable y complementaria, ya que los aspectos de orden funcional, creativo y técnico no se pueden ni deben resolver aisladamente; en caso contrario pueden obtenerse estructuras bien calculadas pero no funcionales o muy funcionales pero económicamente irrealizables e inseguras.

Por lo tanto, "el arquitecto moderno no sólo crea espacios y los hace funcionales y agradables, sino se preocupa también de que su obra sea lógica y aprovecha al máximo los recursos de que dispone; se preocupa de que ningún aspecto técnico entorpezca la funcionalidad de los ambientes y su habitabilidad, sin menospreciar su justo valor dentro del conjunto integral" (1)

En la actualidad la actividad creadora del arquitecto está ampliamente respaldada y favorecida por los adelantos de las técnicas constructivas que a través de varios sistemas y materiales permiten que casi cualquier espacio y forma sea realizable. Sin embargo, los conflictos que el crecimiento de la población y la crisis económica generan, demandan una eficiente racionalización de los recursos. En esa tarea el arquitecto puede coadyuvar a través de una concepción lógica y económica de la estructura.

Ya se ha afirmado que la estructura es una necesidad de la Arquitectura y su objetivo es la solución de los conflictos de equilibrio y estabilidad que deben ser resueltos para proveer un espacio útil para la vida y el trabajo del hombre. Estos conflictos son dependientes de cargas externas cuya solución consiste en crear una situación de resistencia tal que, su magnitud sea igual a las cargas que lo afectan, que básicamente son provocadas por la atracción terrestre que atrae a todo objeto por su masa. Por otro lado, la acción del viento como carga horizontal es un factor importante sobre todo cuando a partir de una determinada altura, los esfuerzos pro-

(1) Escobar, Jorge. Introducción a la Tipología Estructural. Pag. 15, 1a. edición, Editorial Plus Ultra S.A., Guatemala, 1985.

vocados a la base de la edificación son críticos y fundamentales para mantener el equilibrio y la estabilidad. Además son de particular significación los esfuerzos y colapsos que la expansión térmica, el envejecimiento de los materiales y el asentamiento de las estructuras pueden provocar. Es aquí donde "el proyecto estructural" debe respaldar y apoyar los principios de "la estructura Arquitectónica" (2), proporcionándole a ésta los conceptos físico-matemáticos que la dimensionen en forma precisa.

Cada sistema estructural demanda una estrategia y método especial para el cálculo estructural; sin embargo, todos son mecanismos que pretenden reducir las fuerzas y llevarlas al suelo en donde, por no haber espacio para el movimiento, ya no existen conflictos.

Considerando que la función principal del arquitecto es proyectar el concepto estructural que con la máxima eficiencia y estética desvíe las cargas, conduciéndolas al suelo y evitando con ello los conflictos antes mencionados, el conocimiento de éste sobre la materia debe concentrarse en dos aspectos básicos: el mecanismo que hace cambiar las fuerzas de dirección y el conocimiento de los sistemas para cubrir espacios (3). Ambos aspectos han sido plenamente estudiados, desarrollados y planteados de muy diversas formas por especialistas de la materia, que a base de experiencias han logrado establecer criterios generales que constituyen la referencia fundamental para el presente estudio.

Problematización:

Para el desarrollo de los sistemas estructurales y de las técnicas o métodos constructivos, como para cualquier otro aspecto, es de suma importancia la retroalimentación a través de las experiencias que con anterioridad se han tenido. En ese sentido, por medio del diagnóstico que con el estudio se pretende realizar, se busca dar respuesta a interrogantes tales como: ¿Cuáles

(2) Engel, Heinrich. *Sistemas de Estructuras*. Pag. 15. 1a. Edición española. H. Blume ediciones, Barcelona, España, 1979.

(3) Engel, Heinrich. *Ob. Cit.* pag. 15.

son los sistemas estructurales experimentados en Guatemala?, ¿Qué materiales se han utilizado?, ¿Cuáles son las deficiencias y bondades en que se ha incurrido? y ulteriormente ¿Cuál el nivel de desarrollo en nuestro medio en materia de tecnología de la construcción?

Objetivos y Propósito:

El objetivo general del presente trabajo es hacer un análisis estructural/conceptual que nos permita conocer los sistemas estructurales de edificaciones contemporáneas significativas de Guatemala. Para ello, los objetivos específicos son:

- Tipificar el comportamiento estructural de las edificaciones ubicándolas dentro de un grupo o sistema estructural previamente descrito.
- Establecer el grado de eficiencia de los materiales utilizados para los distintos sistemas.
- Determinar si el sistema estructural se adecúa a las actividades que dentro del edificio se realizan.
- Deducir los problemas y/o bondades conceptuales de las estructuras.

El propósito es, a través del diagnóstico del funcionamiento de los sistemas estructurales establecer un modelo de análisis para edificaciones que permita formar criterio mas completo en la práctica de la arquitectura.

Justificación:

Dar respuesta a las interrogantes planteadas en la problematización permite en alguna medida retroalimentar los contenidos académicos de la materia en la facultad de Arquitectura, coadyuvar al enriquecimiento de los conocimientos que de la misma se tienen en nuestro medio e identificar nuevas interrogantes que redunden en futuros estudios.

Alcances y Delimitación:

El estudio es de carácter estrictamente cualitativo/conceptual y orientado básicamente a edificaciones contemporáneas del área metropolitana por considerarse ésta la de mayor desarrollo en materia de tecnología de la construcción.

Hipótesis de Trabajo:

Aunque de carácter descriptivo, el estudio parte de un supuesto que permite en principio identificar algunas variables de estudio: "La expresión formal de la mayoría de edificaciones en Guatemala ha sido determinada u obedece al funcionamiento del sistema estructural que las sustenta".

Proceso de Investigación:

El estudio puede considerarse fundamentalmente de tipo deductivo, dado que a partir de conceptos generales ya establecidos se busca definir objetos particulares (los edificios) detallando sus características esenciales.

La concepción general del estudio incluye trabajo de campo y gabinete, investigación monográfica y de campo, organizada de la siguiente manera.

- Selección del tema.
- Conceptualización del tema.
- Investigación monográfica de aquellos conceptos que definen el marco teórico del objeto de estudio.
- Definición precisa del objeto de estudio, es decir, establecimiento definitivo de los edificios a estudiar en virtud de significación; la que está conceptuada en función de: representatividad de algún sistema estructural, magnitud de la edificación, importancia social, política o Histórico-Cultural y la existencia de testimonio gráfico (planos) o físico (obra existente) de la concepción estructural de las edificaciones.
- Recolección de la información: a través de la investigación monográfica, revisión de planotecas de las diferentes instituciones o empresas planificadoras y constructoras del objeto de estudio, levantamiento personal en caso necesario.
- Clasificación y selección de la información.
- Elaboración de esquemas para el análisis de las edificaciones, en los que se describa las características generales de la edificación (materiales, sistema de cubierta, portante,

cimentación, y rigidización si los hubiere), análisis cualitativo de esfuerzos, del material, de las deformaciones, diagramas de corte, momento y formas ideales cuando el caso lo demande. Evaluación de lo señalado.

- Presentación de la información.
- Presentación de conclusiones.
- Presentación de recomendaciones.
- Revisión y corrección del material elaborado.

2. CONCEPTOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

2. CONCEPTOS BASICOS DEL ANALISIS ESTRUCTURAL

2.1 DEFINICION DE ESTRUCTURA.

Se denomina estructura al conjunto de elementos cuya función es la de resistir los efectos de las fuerzas externas que afectan a los cuerpos físicos y que tienden a deformarlos.

2.2 OBJETIVO DE LAS ESTRUCTURAS ARQUITECTONICAS.

La función específica de las estructuras arquitectónicas es la de delimitar, mantener la forma y en muchos casos encerrar un espacio con el objeto de hacerlo útil para actividades humanas específicas. La sólo existencia de la estructura determina un objetivo fundamental de las estructuras arquitectónicas: la resistencia a la carga de su peso propio en principio y a la acción de cargas externas ulteriormente.

2.3 TIPOS DE CARGAS QUE AFECTAN A LAS ESTRUCTURAS

Las cargas mas importantes que actúan sobre las estructuras son: (4)

- El peso propio de la estructura.
- El peso de los elementos no estructurales tales como: tabiques, muebles, instalaciones, mobiliario fijo, etc.
- Las fuentes de viento, que son variables para cada lugar y estructura dependiendo de sus características.
- Las fuerzas de sismo, que son variables para cada lugar y estructura dependiendo de sus características.
- Empujes de tierra, agua u otros que afecten a la estructura.
- Cargas por deformaciones causadas por cambios de temperatura o asentamientos.

Todas las cargas anteriores son de diferente índole, calidad y modo de aplicación y para su mejor comprensión las podemos clasificar en grupos generales.

(4) Escobar, Jorge. Ob. cit. pag. 16.

Por su calidad las cargas pueden ser Vivas o Muertas:

Cargas vivas son las cargas no fijas que pueden cambiar de lugar o posición y también de magnitud respecto de la estructura, entre ellas están el peso de las personas y muebles. Cargas muertas son las cargas fijas, que no cambian de lugar o de posición ni de magnitud, actuando permanentemente sobre la estructura; ejemplo de ellas son el peso de la estructura y mobiliario fijo.

Por su modo de aplicación las cargas pueden ser concentradas o distribuidas.

Cargas concentradas son las que están aplicadas en un punto específico o en un área muy pequeña, por ejemplo, el peso de una persona o un apoyo vertical. Estas cargas a su vez se pueden dividir en axiales o excéntricas dependiendo si están aplicadas en el eje o excéntricamente respecto a éste.

Cargas distribuidas son las cargas aplicadas a un área o longitud en forma repartida. Estas cargas pueden encontrarse repartidas de modo uniforme o no uniforme. Las cargas aplicadas uniformemente son las que tienen el mismo valor en cualquier punto del área o longitud considerada, o bien varían pero ordenadamente de acuerdo a una regla conocida. Las cargas distribuidas no uniformes son las que varían desordenadamente sin ninguna regla establecida.

Además existe otra clasificación dependiendo si las cargas son aplicadas de manera gradual o con impacto: en este caso las cargas se dividen en estáticas y dinámicas respectivamente. Se puede aplicar por regla general que "los efectos dinámicos de una carga son iguales al doble de sus efectos estáticos" (5).

Existen también cargas por afecciones térmicas y asentamientos.

Las afecciones térmicas son producto de variaciones de temperatura que generan alteración en las dimensiones de los elementos estructurales, introduciendo esfuerzos adicionales que si no se consideran pueden hacer colapsar a la estructura.

(5) Salvadori Mario y Heller Robert. Estructuras Para Arquitectos. Pag. 44. 5a. Edición. Editorial La Isla. Buenos Aires, Argentina. 1978.

Los asentamientos tienen su origen en irregularidades del suelo sobre el cual se funda una construcción y cuya causa puede ser la variación de la resistencia o valor soporte del suelo para distintos puntos.

2.4 ESTADOS BASICOS DE TENSION O ESFUERZOS EN LAS ESTRUCTURAS

2.4.1 TRACCION

Es el estado de tensión en el cual las partículas del material tienden a separarse (6) y que es producido por dos fuerzas iguales y colineales pero divergentes. Es importante considerar que el alargamiento no es el único fenómeno que se da con la tracción, análisis muy cuidadosos han demostrado que dicho alargamiento va acompañado de una reducción del área de la sección del elemento en cuestión (7). Dicho fenómeno cuya expresión matemática se denomina coeficiente de Poisson es digno de considerarse sobre todo en la aplicación de cables.

2.4.2 COMPRESION

Es el estado en el que las partículas tienden a juntarse o apretarse entre sí y producido por dos fuerzas iguales, colineales pero convergentes. Es propio de la compresión el acortamiento del elemento y contrario a lo que sucede en la tracción, aquí la sección del elemento se ensancha.

En los elementos delgados y largos sometidos a compresión existe el riesgo del pandeo, este fenómeno constituye un factor básico de diseño cuando la resistencia a la compresión de los materiales es suficiente para permitir el uso de secciones pequeñas y elementos delgados.

También se produce pandeo cuando la carga actúa perpendicular al eje longitudinal del elemento. Para evitar el pandeo (flexión) en elementos sometidos a compresión deben darse dos circunstancias: la longitud del elemento afectado debe ser corta en relación a su sección transversal (relación

(6) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 90.

(7) Ibid. pag. 92.

de esbeltez) y las cargas actuantes deben ser axiales.

2.4.3 CORTE

El esfuerzo de corte es producido por una fuerza que actúa tangencialmente a un área dada y que provoca que las partículas del material se deslicen paralela pero tangencialmente. Las tensiones o esfuerzos de corte producen deformaciones capaces de cambiar de forma rectangular al elemento, es decir, posee la característica de producir deslizamiento no en un plano sino en dos siempre perpendiculares entre sí. Por eso se dice que el corte es una combinación de tracción y compresión perpendiculares entre sí.

2.4.4 TORSION

Es el efecto producido por fuerzas iguales, opuestas y no colineales que tienden a torcer un elemento alrededor de su eje central. "La deformación en este caso consiste en un desplazamiento de los puntos que se encuentran en la superficie del elemento, alrededor del eje longitudinal, siendo mayor en las proximidades del punto en donde se aplica el giro y menor conforme se aleja del mismo." (8)

2.4.5 FLEXION

Existe flexión cuando se produce tracción y compresión así como esfuerzos cortantes y momento en distintas secciones de un mismo elemento estructural. La flexión es un mecanismo mediante el cual se canalizan cargas verticales en sentido horizontal.

2.4.6 MOMENTO

Es el efecto que produce una carga aplicada a una determinada distancia o brazo de palanca, tiende a provocar la rotación del elemento alrededor de un punto. Existe momento flexionante y momento torsionante dependiendo de la posición de las cargas. El momento flexionante padea el

(8) Escobar, Jorge. Ob. cit. pag. 25

elemento, el torsionante tiende a hacerlo girar alrededor de su eje longitudinal. Para todo momento actuante existe un momento resistente generado por el propio elemento afectado.

2.5 REQUISITOS BASICOS DE LAS ESTRUCTURAS

2.5.1 EQUILIBRIO.

Este requisito exige la garantía de que el elemento y/o cualquiera de sus partes se mantendrá firme y estable ante las cargas actuantes. Se exige equilibrio tanto a la rotación como a la traslación.

Se dice que existe equilibrio cuando a toda fuerza en una dirección dada se opone otra de igual magnitud y dirección pero de sentido contrario, así como la respectiva compensación de momentos.

2.5.2 RESISTENCIA.

Esto significa que, cuando la estructura sea sometida a todas y cada una de las cargas posibles se mantenga íntegra en su totalidad y en cada una de sus partes.

En algunas condiciones y bajo ciertas circunstancias es recomendable algún grado de flexibilidad, sin que ésta llegue a representar el colapso de la estructura. Lo anterior se hace evidente en estructuras sometidas a cambios bruscos de temperatura y asentamientos desiguales. La rigidez de elementos sometidos a dichos fenómenos se resuelve con las llamadas juntas de construcción.

En este estudio, a los dos anteriores (equilibrio y resistencia) se les denominará requisitos que reflejan la eficacia estructural, a los tres siguientes (funcionalidad, economía y estética) se les identificará como requisitos que reflejan la eficiencia estructural, ya que los primeros reflejan el logro de los objetivos de la estructura y los segundos la forma más o menos óptima en que lo hacen.

2.5.3 FUNCIONALIDAD

Este requisito pretende que la configuración formal/espacial y cualidades de la estructura se adecuen a las actividades que dentro del edificio se van a realizar, es decir, exista correspondencia de la estructura con el uso o finalidad del edificio.

2.5.4 ECONOMIA

En términos de análisis estructural se entenderá por economía la cualidad de conducir cargas en la forma mas fluida posible, lo que se traduce en una rápida y directa transmisión de las mismas sin hacer recorridos innecesarios reduciendo al mínimo los esfuerzos internos de la estructura con el mínimo de elementos.

Esta economía estructural es requisito que generalmente redunda en un tipo de economía más comunmente conocida: el costo de capital. Existirá esta correspondencia entre ambas siempre y cuando el gusto, capricho u objetivo del proyectista, propietarios o usuarios no condicione la solución estructural. Se añade lo anterior en virtud de que en algunos casos, se añaden fines monumentales, publicitarios o simbólicos a las edificaciones, en cuyo caso el costo de capital tiene poca relación con los objetivos estructurales.

2.5.5 ESTETICA

Lograr el requisito de estética consiste en producir una expresión formal que revele la esencia o verdad estructural del edificio, ello no significa que la composición sea acondicionada a la estructura, sino que ambas se adecúen, integren y complementen.

2.6 LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LAS ESTRUCTURAS

Puede utilizarse una gran variedad de materiales dependiendo de sus propiedades particulares y específicas para resistir cargas, entre ellos: la piedra, la mampostería, la madera, el acero, el aluminio, el hormigón armado, prefabricados y últimamente se ha utilizado el plástico.

Uno de los requisitos importantes de los materiales estructurales es la elasticidad, ésta consiste en la capacidad de resistir deformaciones y desaparecer las mismas una vez retiradas las cargas, siempre y cuando esto sucede se dice que el material actúa elásticamente y por lo tanto se encuentra en su rango elástico. Cuando un elemento estructural de un material específico es sometido a deformaciones permanentes y acumulativas luego de retirar las cargas, se dice que actúa dentro de su rango plástico.

Existe un valor de carga límite en el que el material cambia su comportamiento de rango elástico a rango plástico, es el llamado límite de elasticidad. Son propios para fines estructurales, los materiales que se comportan elásticamente en las condiciones de carga y tiempo de vida que se esperan de la estructura.

Por otro lado, existen materiales que se comportan de manera proporcionalmente elástica hasta la ruptura, tales como el vidrio y los polímeros que naturalmente no son aptos para fines estructurales en virtud de que en ningún momento dan muestra alguna de rotura inminente.

Otra forma muy práctica de clasificar los materiales estructurales es según el o los estados de tensión que pueden resistir siendo estos: la tracción, la compresión, la flexión, la torsión y el corte.

Todos estos materiales poseen resistencia a los distintos estados de tensión, sin embargo, unos más que otros para tensiones determinadas. Por ejemplo, la piedra y el hormigón están capacitados para resistir mayores esfuerzos de compresión que de tracción. Otros como el acero son capaces de resistir en igual forma tensiones de compresión y tracción.

Además, por lo general los materiales capaces de resistir tracción también resisten esfuerzos de corte, no así los que resisten solamente compresión.

Dentro de esta clasificación antes mencionada existen básicamente tres grupos:

- Materiales Unirresistentes.
- Materiales Birresistentes.

- Materiales Adecuorresistentes. (9)

Materiales Unirresistentes:

Son aquellos que esencialmente resisten un solo tipo de esfuerzo, aunque como ya se mencionó en alguna medida todos los materiales resisten los distintos esfuerzos. Estos materiales en estructuras arquitectónicas resisten básicamente las tensiones de compresión. Entre ellos están: los materiales pétreos, la mampostería, cantería, el adobe, el ladrillo y el concreto u hormigón.

Los Materiales Birresistentes:

Son aquellos que resisten tensiones de compresión y tracción en la misma magnitud, el más importante es el acero. Como anteriormente se afirmó, el acero posee igual módulo de elasticidad para tensiones de compresión y tracción, dentro de su rango elástico.

Los Materiales Adecuorresistentes:

Son básicamente el concreto reforzado y Pre-esforzado. Ambos combinan las características distintas pero afines del concreto y el acero de tal forma que se convierten en materiales capaces de resistir esfuerzos combinados o simultáneos de tracción y compresión (flexión) por adecuación en las distintas zonas de trabajo.

(9) Torroja, Eduardo. Razón y Ser de los Tipos Estructurales. Editorial MAG S.L. Madrid, España. Citado por Escobar, Jorge en "Sistemas estructurales en Arquitectura", pags. 55-66, Volumen 13 Colección Aula. Editorial Universitaria, Guatemala, 1975.

3. LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

3. LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

Las definiciones, terminología y graficación que constituyen el presente capítulo, son una síntesis del contenido de algunos tratados de especialistas en la materia (10).

Previo a la descripción de los distintos sistemas estructurales conviene hacer una definición de lo que es un sistema estructural. Este puede definirse como el conjunto de elementos que de manera ordenada y fluida transmiten las cargas externas al suelo, por medio de un determinado mecanismo resistente.

Existen diversas clasificaciones de los sistemas estructurales dependiendo de sus características formales, de los efectos producidos en la transmisión de cargas y del mecanismo resistente. En este estudio se adoptará una clasificación que constituye la síntesis e integración de clasificaciones hechas por autores especialistas, y que obedece fundamentalmente a la disposición y configuración de los elementos estructurales:

- 3.1 Estructuras Trianguladas.
- 3.2 Estructuras Funiculares.
 - 3.2.1 Lineales.
 - 3.2.2 Superficiales.
- 3.3 Estructuras Laminares o Cáscaras.
- 3.4 Estructuras Masivas.
- 3.5 Estructuras Verticales.

3.1 ESTRUCTURAS TRIANGULADAS.

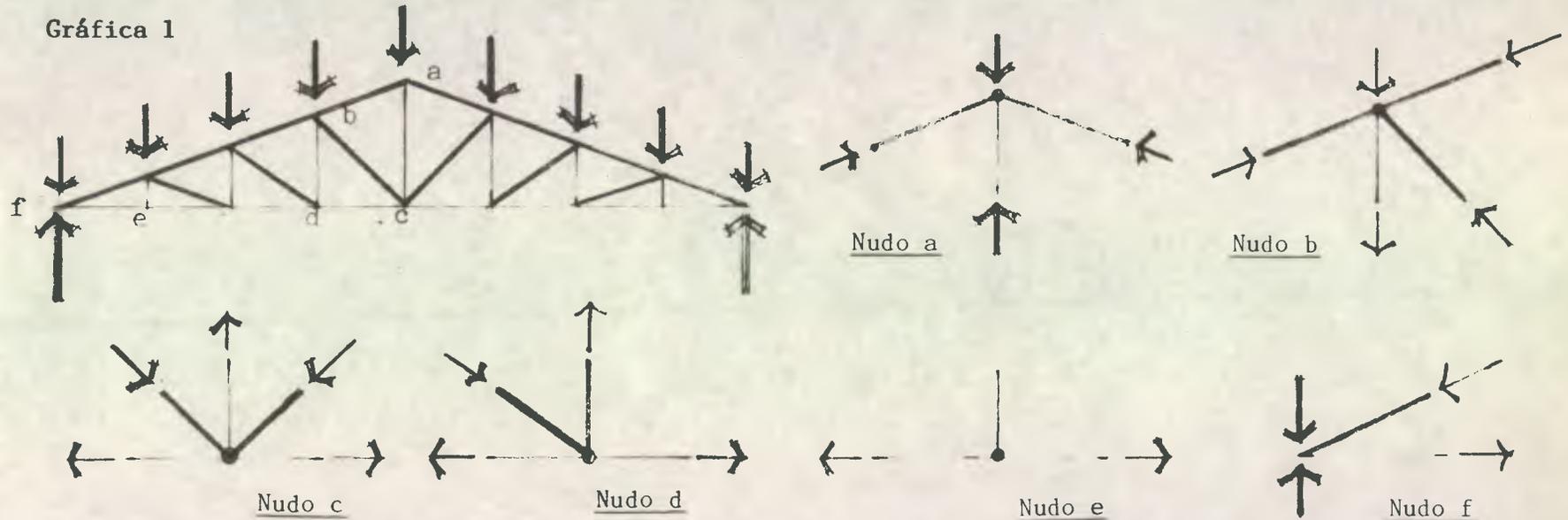
Estas estructuras están constituidas por elementos cortos, sólidos y rectos; los que por su reducida sección sólo pueden transmitir esfuerzos normales o axiales: tracción o compresión.

(10) Referencia fundamental: Engel Heinrich. Ob. cit. caps. 1 a 5.
Escobar Jorge. Ob. cit. caps. 4 a 10.

Las piezas antes mencionadas se ensamblan por triangulación para introducir rigidez a la estructura formando sistemas capaces de resistir cargas asimétricas y variables cubriendo grandes luces sin el uso de apoyos intermedios y con un peso relativamente bajo si se compara con el área cubierta.

El mecanismo resistente de estas estructuras consiste en la descomposición de las cargas, las que se transmiten axialmente a través de las barras. (Ver Graf. 1)

Gráfica 1



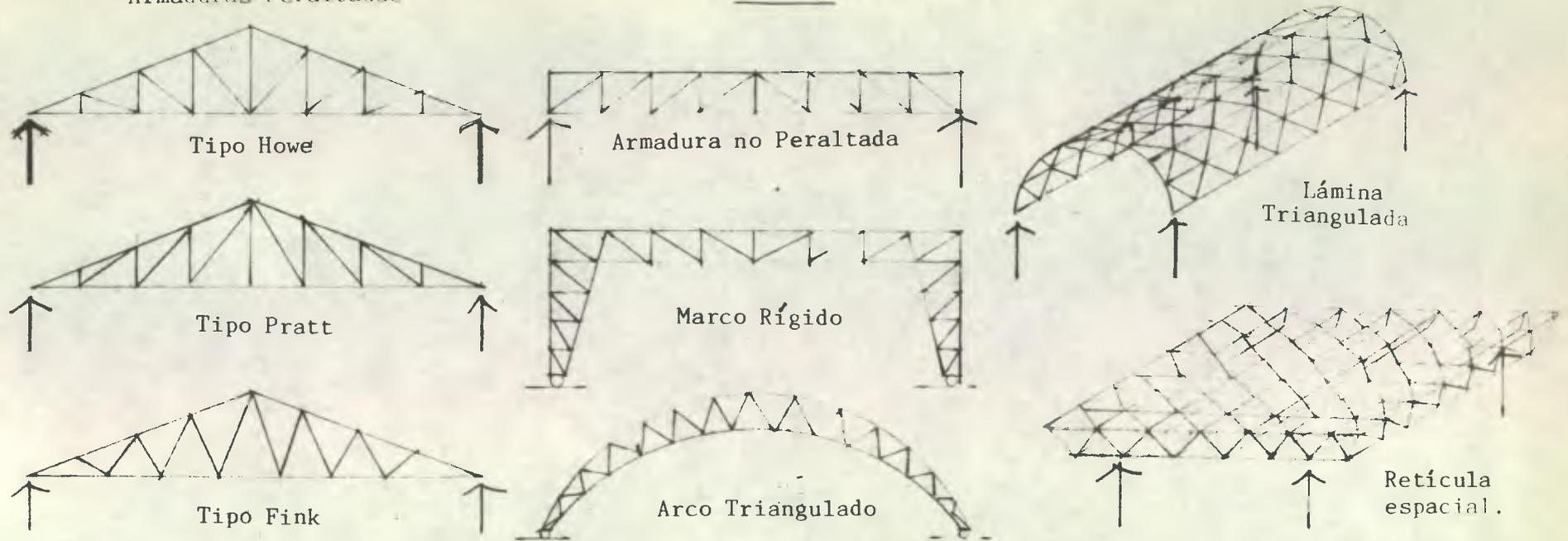
Para un efectivo funcionamiento de estas estructuras, el ángulo que forman las barras debe estar comprendida entre 45 y 60 grados.

Debe considerarse que la magnitud de carga absorbida por las barras no es constante ya que mientras más próximas se encuentran de los apoyos o reacciones verticales mayor es la magnitud de carga absorbida.

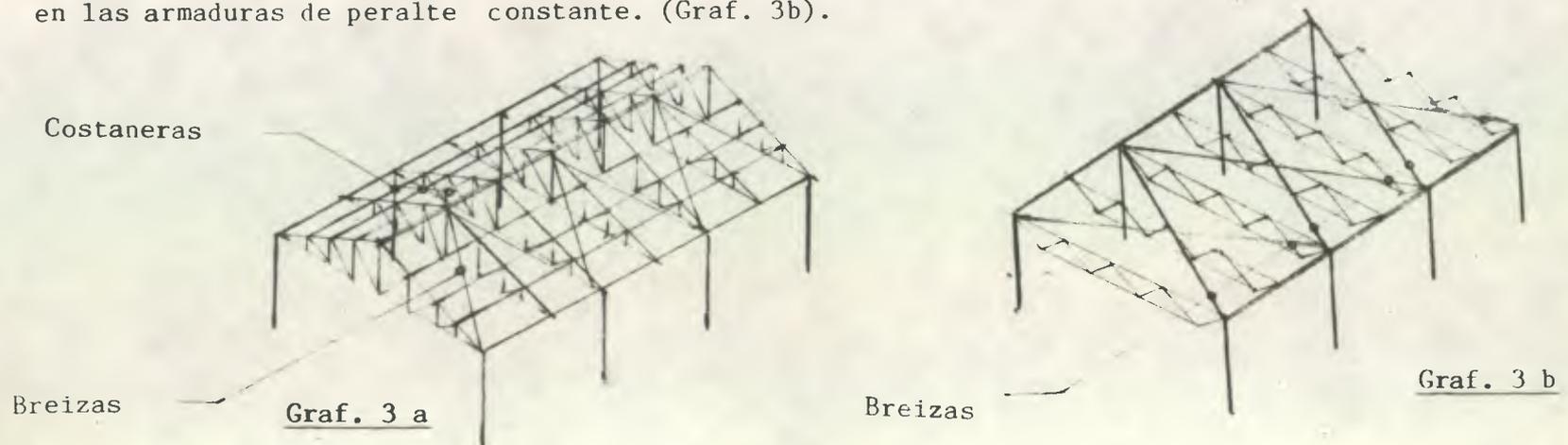
Las aplicaciones mas comunes de este sistema estructural son: la armadura peraltada (tipo Howe, Pratt y Fink), la armadura de peralte constante, el marco triangulado, las superficies triangulares y la retícula espacial. (Ver Graf. 2)

Armaduras Peraltadas

Graf. 2

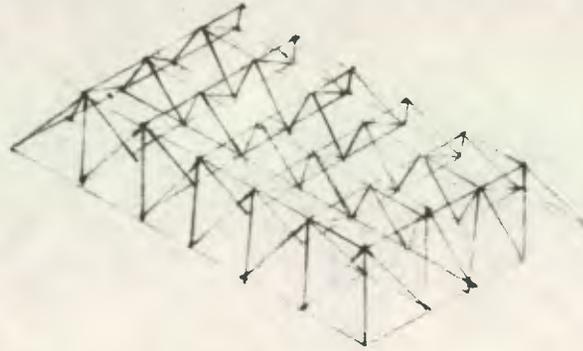


El sistema de estabilización ante la acción de cargas laterales se logra a través de las llamadas costaneras que se colocan en sentido perpendicular a las armaduras y que actúan por flexión. Además, cuando se requiere una mayor seguridad se introduce el sistema de breizas que produce mayor rigidez al conectar por triangulación a las armaduras (Graf. 3a). Este sistema se utiliza más en las armaduras de peralte constante. (Graf. 3b).



El tipo de retícula **espacial** posee la ventaja de constituir a la vez el sistema portante y estabilizador por su acción y disposición tridimensional. (Ver Graf. 4).

Graf. 4

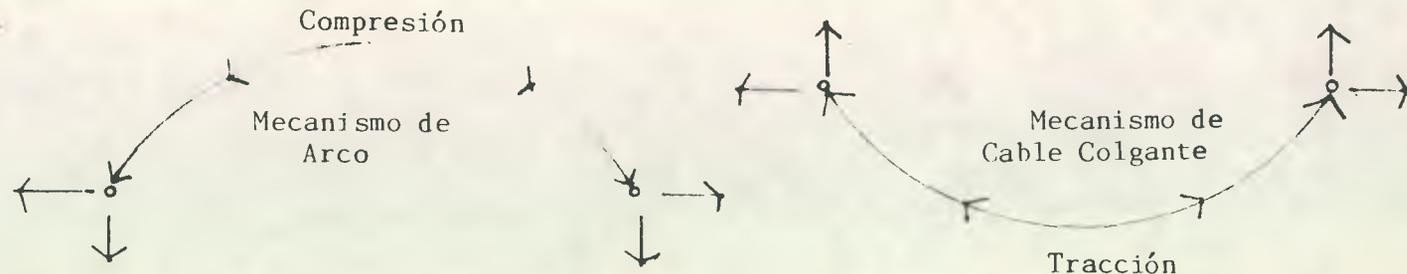


3.2 ESTRUCTURAS FUNICULARES.

3.2.1 ESTRUCTURAS FUNICULARES LINEALES.

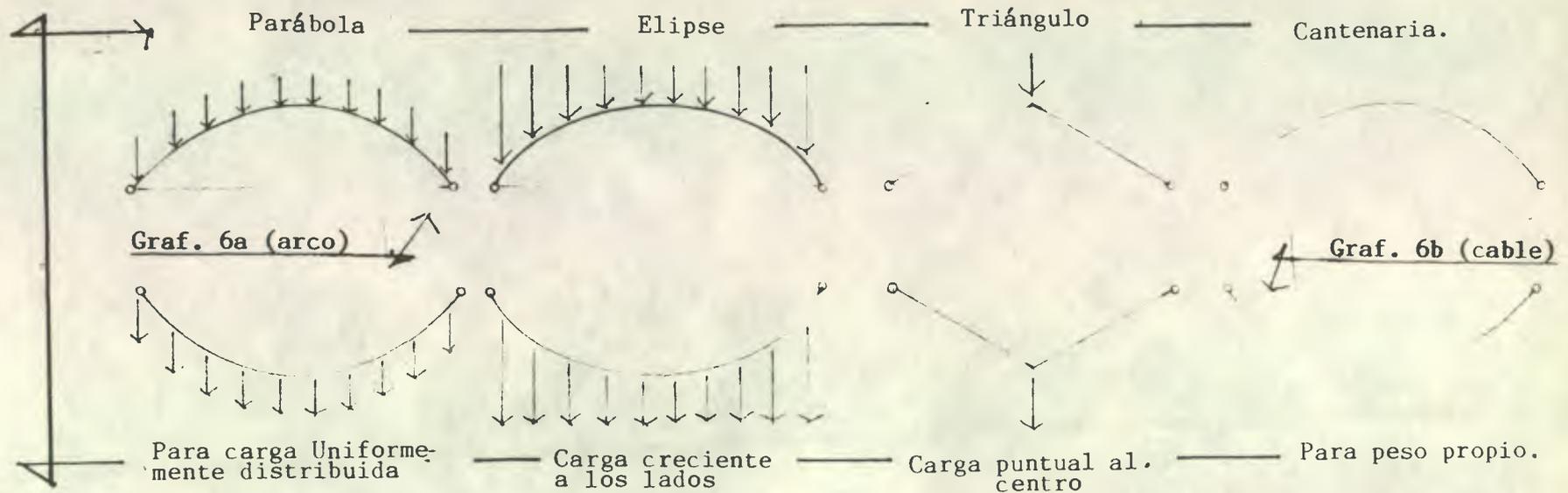
Son sistemas constituidos por materiales flexibles, cuya principal característica es la de transmitir las cargas mediante tensiones simples y normales, es decir mediante tracción o compresión. Estas estructuras desarrollan esfuerzos horizontales en sus extremos cuya recepción constituye su problema principal. El arco y el cable conforman este sistema, absorbiendo las cargas mediante compresión y tracción respectivamente. (Ver Graf. 5).

Graf. 5



En estos sistemas la forma obedece al flujo natural de los esfuerzos por lo que ellos constituyen el camino natural de las fuerzas para ser absorbidas. A la forma de esa trayectoria se le denomina Funicular.

Dicha forma funicular varía dependiendo de las condiciones de carga (ver graf. 6a). La forma funicular para esfuerzos de tracción (mecanismo del cable colgante) es igual e invertida para esfuerzos de compresión (mecanismo de arco), (ver graf. 6b).

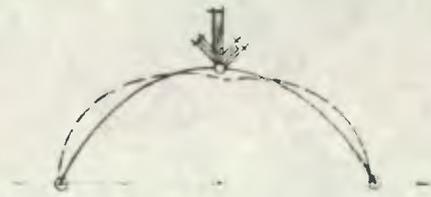
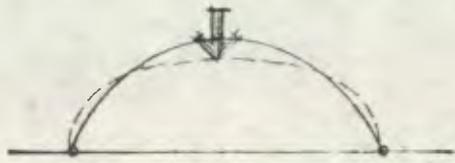


"Para muchos problemas, el trazado de un arco permite el recorrido lineal más corto comparado con un sistema colgante de puntos de suspensión más altos, y resulta mas conveniente"(11). Sin embargo el cable presenta la ventaja de cambiar su forma bajo las diferentes condiciones de carga, y por lo tanto siempre adopta su forma funicular; el arco por el contrario, por no poder cambiar forma, es funicular solamente para un determinado sistema de cargas.

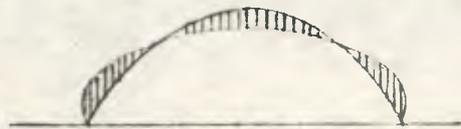
Debido a esa limitación del mecanismo del arco, en éste se introducen flexiones debidas a la variación de la directriz o forma funicular por acción de cargas verticales y horizontales adicionales (ver gráf. 7).

(11) Frei, Otto. Cubiertas Colgantes. Pag. 158. 1a. Edición española. Editorial Labor S.A. Barcelona, España, 1958.

Graf. 7



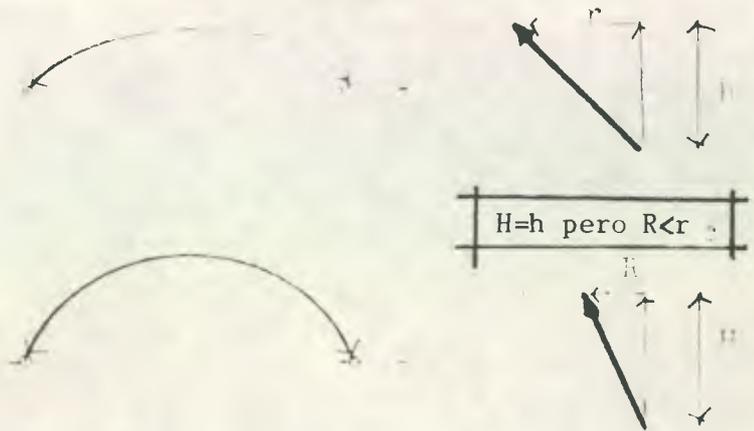
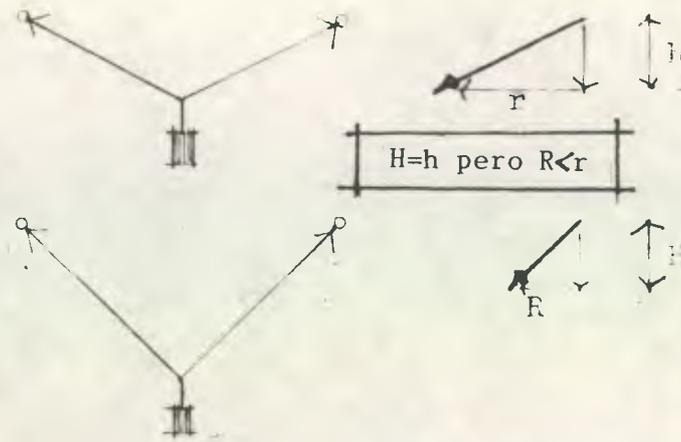
Condiciones de carga y Deflexiones



Diagramas de momento

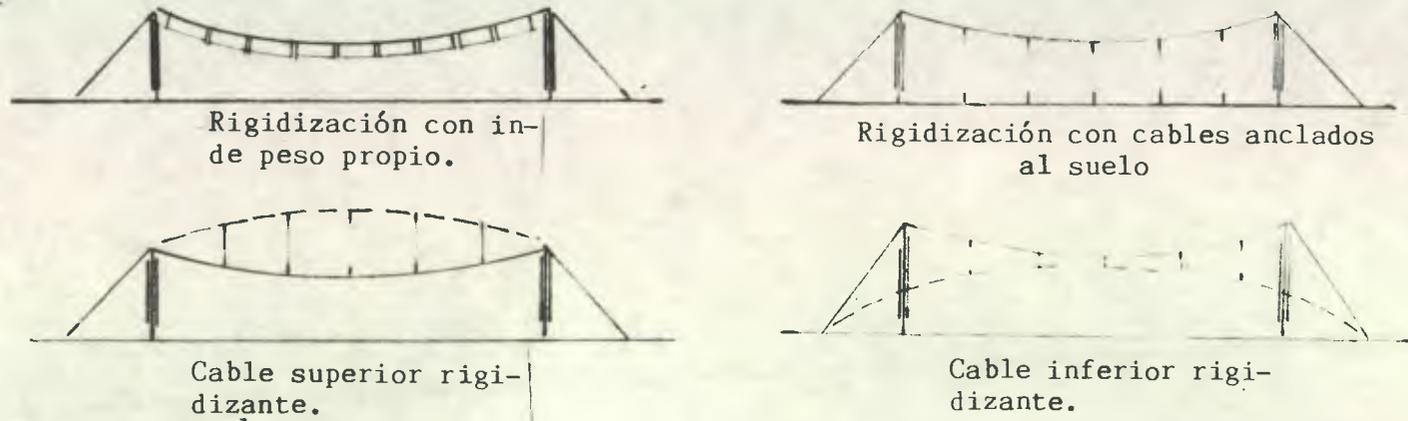
Es de singular importancia en estos mecanismos, la influencia que la flecha tiene en el empuje o reacción horizontal. Para ambos casos se cumple que mientras mayor sea la flecha, menor será la reacción horizontal y viceversa (ver graf. 8).

Graf. 8

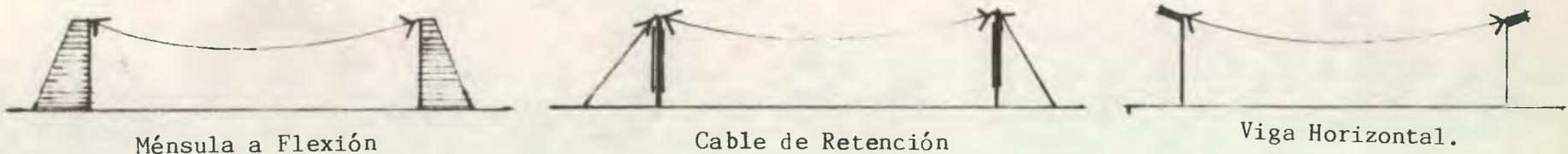


Por otro lado, el cable colgante debido al escaso peso propio en relación a su longitud y a su flexibilidad es considerablemente afectado por succiones de viento, vibraciones y cargas móviles o asimétricas; es por ello que se hace indispensable la estabilización por medio de elementos secundarios (ver graf. 9).

Graf. 9



Otro factor muy importante en el sistema de cables es el mecanismo de retención (ver Gráf.10), el que se vuelve mas complejo cuando el sistema es repetitivo y por lo tanto surge la necesidad de rigidización transversal (ver graf.11).



Graf. 10 →

Graf. 11 →



Vigas ancladas al suelo

3.2.2 ESTRUCTURAS FUNICULARES SUPERFICIALES.

Estos sistemas están constituidos por dos elementos básicos: Las membranas que son superficies de espesor mínimo en relación al área del elemento y constituidas por un material flexible y por otro lado los elementos sustentantes que pueden ser cables, columnas, arcos o cualquier otro elemento.

De estas estructuras existen dos tipos: Los sistemas Neumáticos y Los Sistemas de Tienda. Ambos son tipos estructurales relativamente nuevos y por lo tanto poco explotados y experimentados.

En los sistemas neumáticos el mecanismo resistente se logra a través de la Presión de aire que hace que la membrana adapte su forma a ella, poniéndose en tensión cuando alcanza su extensión máxima al inflarse. Su mecanismo rigidizante es a través de cables tensados que seccionan la forma esferoidal a que tienden estas estructuras. (Ver graf. 12).

Graf. 12



El sistema de tienda consiste en cables tensados que soportan a la membrana a la que estabilizan y rigidizan. Los cables se tienden sobre los elementos de apoyo que de acuerdo a los requerimientos pueden ser arcos, columnas u otro elemento. (Ver graf. 13).

Graf. 13



3.3 ESTRUCTURAS LAMINARES.

Su principal característica es la continuidad estructural en ambos sentidos, lo que significa resistencia superficial a esfuerzos de tracción, compresión y corte.

El mecanismo resistente resulta más eficaz en la medida que la superficie sea paralela o las cargas o fuerzas actuantes y por lo tanto más débil cuando la superficie es perpendicular a ellas.

En una estructura superficial horizontal la resistencia disminuye cuanto mayor sea la superficie, en las superficiales verticales aumenta cuando se extiende. En estos casos actúan los mecanismos de losa y viga respectivamente. Para equilibrar ambas circunstancias se puede inclinar la superficie por medio de plegado o curvado de la misma (ver graf. 14a y 15a).

En virtud de que la forma de la superficie determina el mecanismo sustentante de estos sistemas, es imprescindible la obtención de la forma correcta. La creación de dicha forma constituye el conflicto esencial al proyectar una estructura superficial. Al crear la forma correcta queda integrado a ella el mecanismo de los sistemas funiculares (arco y cable sustentante) que constituyen el principio estructural.

El problema más significativo en la solución de un sistema superficial es la rigidización del borde y perfil superficial (ver graf. 14 b, 14 c, 15 b, 15 c y 17 b), al proyectar estos rigidizantes se pretende evitar cualquier cambio brusco de rigidez.

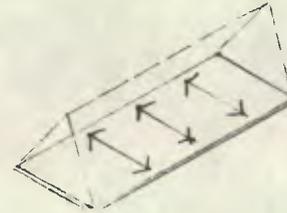
Una característica muy importante e interesante de estos sistemas es que la superficie estructural constituye a la vez la envoltura del espacio interno y por ello las edificaciones no permiten hacer distinción entre estructura y edificio.

Las posibilidades formales que ofrece este sistema estructural son muy variadas y singulares. Veamos los principios de las formas más elementales:

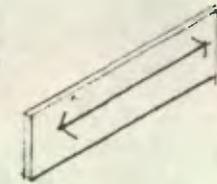
La losa o placa plegada combina la acción de losa, viga y pórtico (ver gráfica 14a) y su sistema de rigidización transversal es a través de los llamados diafragmas (ver fig 14b).

Graf. 14a.

Losa Plegada



Acción de Losa



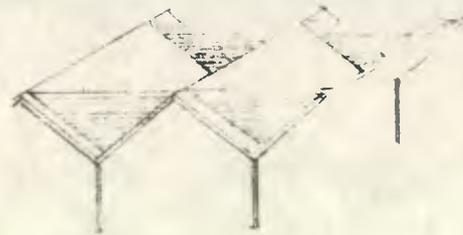
De Viga



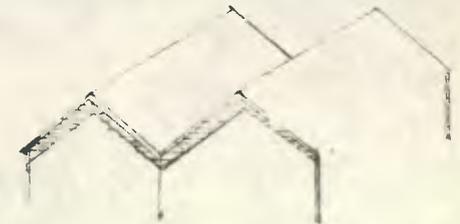
De Pórtico

Graf. 14b

Diafragma abajo



Diafragma Arriba

Pórticos rígido
bajo los pliegues

Sin embargo, para los bordes libres también es imprescindible rigidizar para evitar deformaciones longitudinales (ver graf. 14c).

Graf. 14c

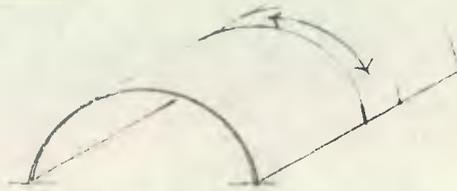
Viga vertical



Viga Horizontal

Viga perpendicular
al pliegueViga de borde
integrada

En la lámina cilíndrica también se da un triple mecanismo, siendo ellos: de arco, viga y losa; su sistema de rigidización es similar al de la losa plegada (ver graf. 15a. 15b y 15c)

Graf. 15a

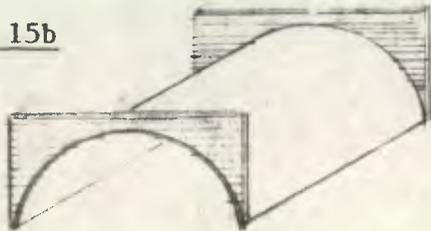
Mecanismo de Arco



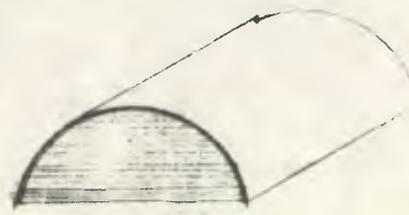
Mecanismo de Viga



Mecanismo de Losa

Graf. 15b

Diafragma arriba



Diafragma abajo



Pórtico rígido abajo.

Graf. 15c

Viga Vertical

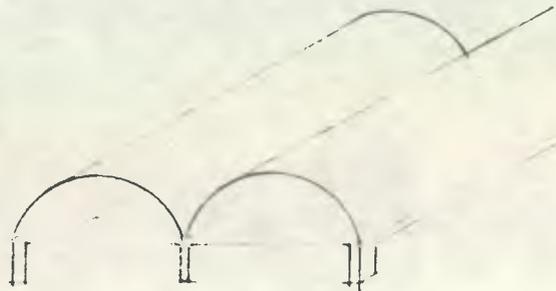


Viga horizontal

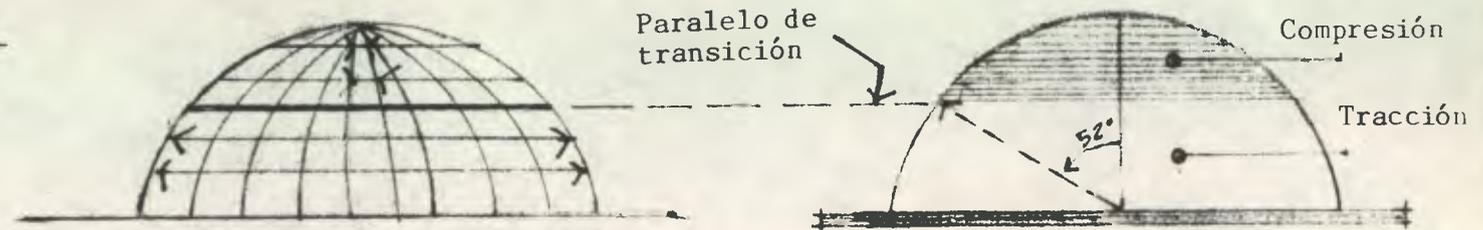


Lámina continua.

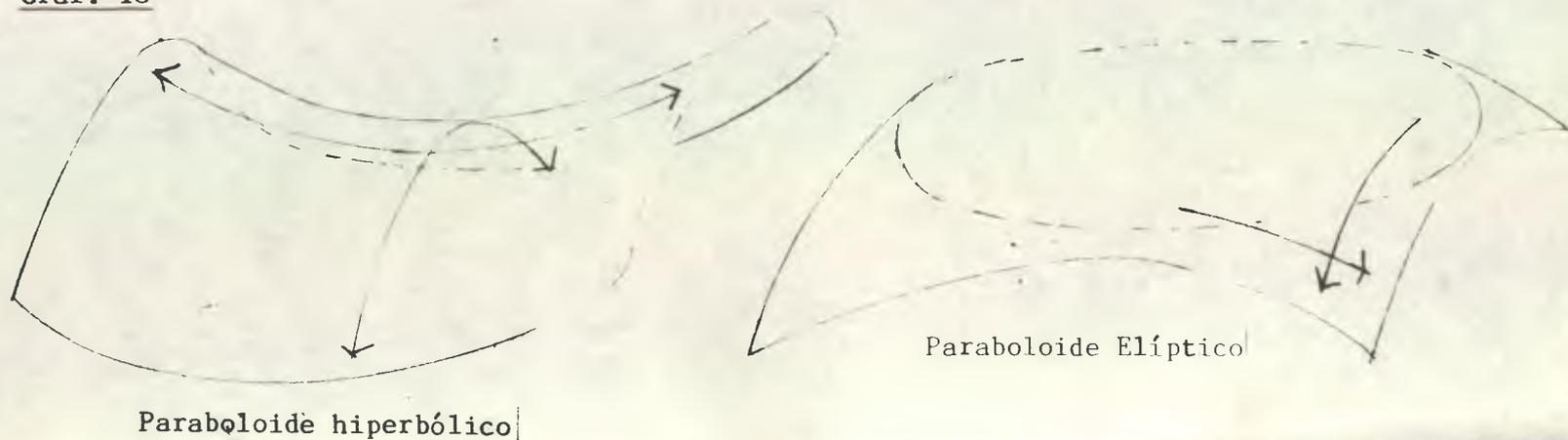
Cuando la lámina cilíndrica es larga el mecanismo básico actuante es el de arco y cuando es corta el mecanismo básico es de losa (Graf.16). El sistema se hace extensivo ya sea por adición de otras unidades o continuidad de la unidad existente.

Graf. 16

La lámina esférica absorbe las cargas básicamente por esfuerzos de tracción y compresión según paralelos. Dichos mecanismos actúan en una zona cuyo límite es el paralelo a 52° contados desde la clave (ver graf. 17a). Las perturbaciones de borde producen estados de flexión que se contrarrestan a través de un anillo (ver graf. 17b).

Graf. 17a.Graf. 17b

Finalmente, el paraboloides hiperbólico y el paraboloides elíptico en los que se dan acciones de arco y cable colgante (ver graf. 18). Para el paraboloides hiperbólico y elíptico es sumamente importante la rigidización de los bordes libres.

Graf. 18

3.4 ESTRUCTURAS MASIVAS

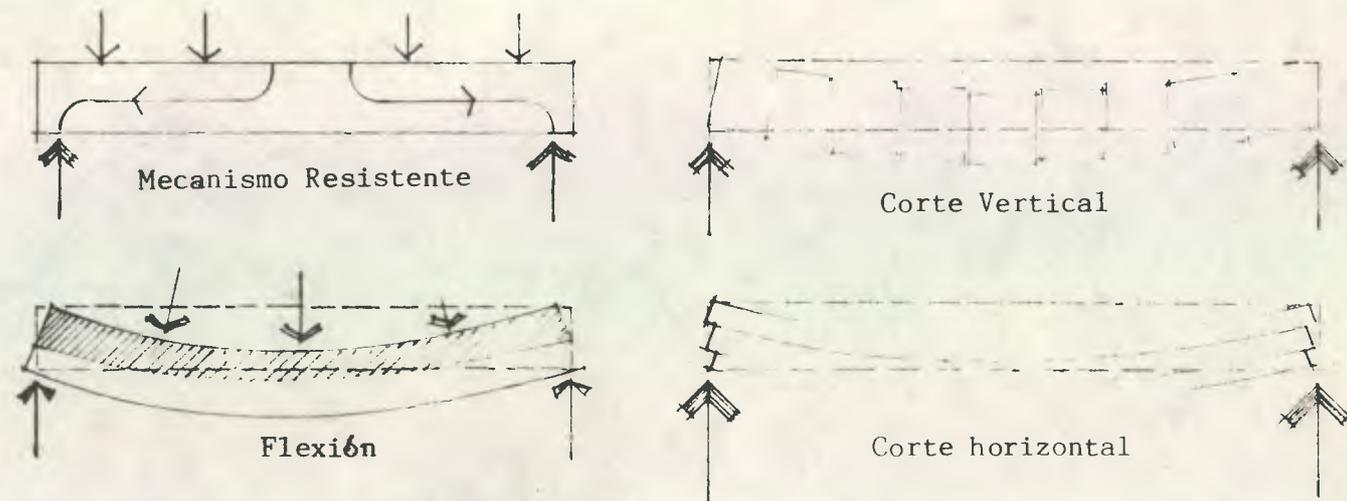
Estos sistemas estructurales también reciben el nombre de Sistemas Estructurales sujetos a flexión, en virtud de que éste es el mecanismo a través del cual absorben las cargas y las conducen al suelo. Son sistemas constituidos por elementos rectos y longitudinalmente fijos.

el elemento más simple y representativo de este sistema es la viga, elemento estructural recto resistente a flexión que a través de su mecanismo interno puede absorber cargas que actúan perpendicularmente a su eje y transportarlas hasta sus extremos.

Cuando la viga se une a sus soportes aislados en forma rígida, constituye con estos un sistema que actúa conjuntamente y mediante el cual toda la estructura participa del mecanismo resistente y la deformación.

El mecanismo resistente de estos sistemas estructurales consiste en la acción conjunta de esfuerzos de tracción, compresión y corte en el interior del mismo elemento (ver graf. 19).

Graf. 19



Una característica de los elementos que flectan es que a medida que la masa de estos se encuentra mas alejada del eje neutro, mayor es el esfuerzo. (ver graf. 20).

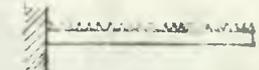
Graf. 20



También es desigual la distribución de las tensiones de flexión a lo largo de los elementos, lo que significa que las exigencias permiten una configuración ideal para optimizar la utilización del material (ver graf. 21). A dicha configuración se le denomina "Forma Ideal".

Graf. 21

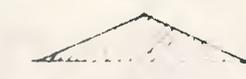
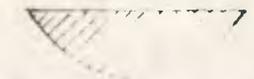
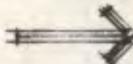
Condiciones de Carga



Deflexión del Elemento



Diagrama de momento

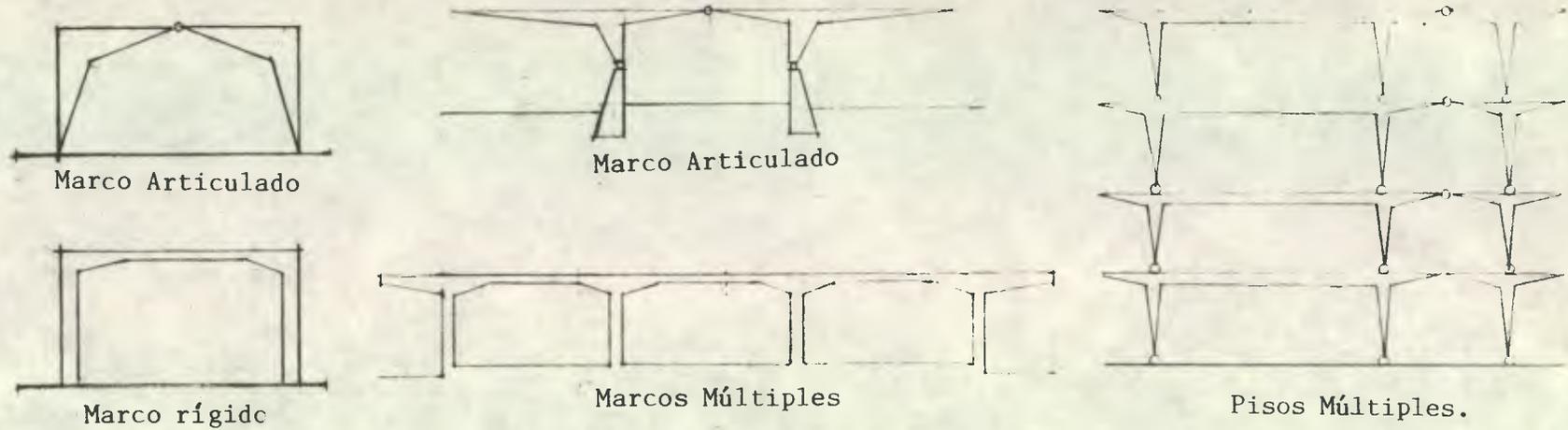


Forma Ideal.



Como ya se mencionó, mediante la conexión rígida de la viga con sus elementos de soporte se logra un mecanismo con mayor capacidad de deformación, compartiendo esta todos los elementos. Cuando eso sucede se forman los llamados marcos rígidos. Sin embargo, en algunas circunstancias, el proyecto se beneficia mas con la utilización de marcos articulados. (ver graf. 22).

También existe la posibilidad de ampliar el sistema a través de marcos múltiples y pisos múltiples con lo que se logra mayor eficacia para la absorción de esfuerzos (ver graf. 23a y 23b).



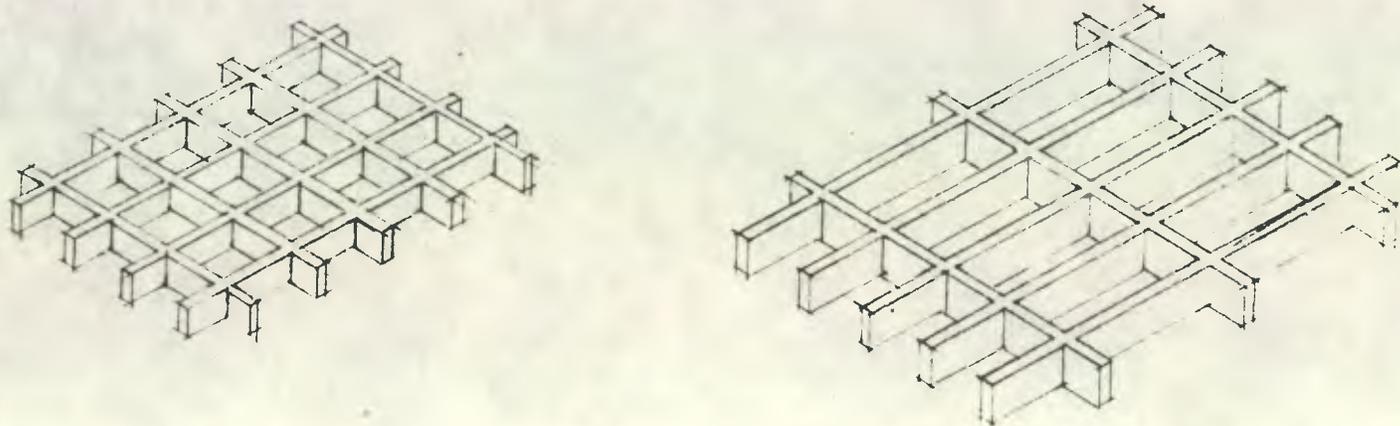
Graf. 22

Graf. 23a

Graf. 23b.

El mecanismo de estos sistemas se puede optimizar cuando se forman retículas biaxiales de tal forma que el mecanismo resistente actúa en dos direcciones y la deformación es compartida por los elementos en ambas direcciones. (ver graf. 24).

Graf. 24



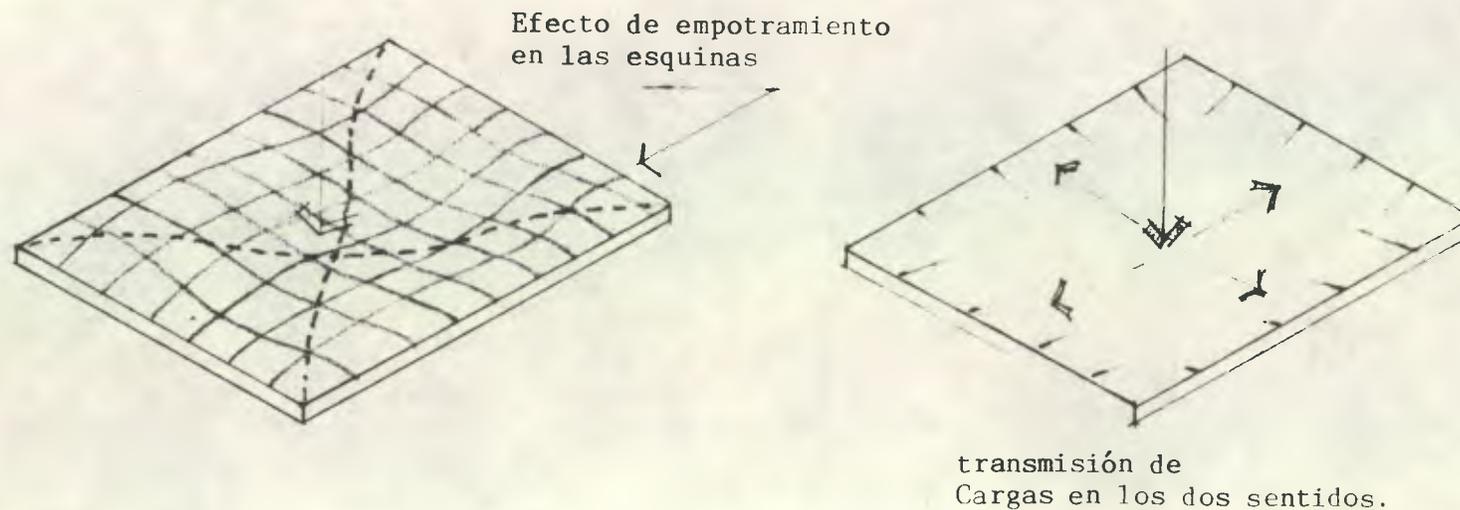
El reticulado perpendicular ó a 90° es óptimo para áreas cuadradas, pero cuando el área se vuelve rectangular las vigas en el sentido longitudinal absorben la mayor deformación haciendo en un momento dado casi inservibles las vigas en el sentido corto, para tales casos resulta mas adecuada la retícula oblicua. Con esta retícula se evita el problema de vigas muy largas y en las esquinas un efecto de empotramiento.

La saturación de masa de el sistema biaxial conduce a la formación de una losa. Las losas por lo tanto se consideran una sucesión de vigas, o bien, una viga cuyo peralte es despreciable en relación a su ancho. En ella la carga se trasmite en dos direcciones mediante el mecanismo de flexión (ver graf. 25).

En las esquinas de una losa se da un aumento de rigidez a consecuencia de fucionarse en ellas los elementos sustentantes de borde. Ello significa que las esquinas no pueden girar lo que representa acción de empotramiento.

Las losas por su mecanismo resistente son construidas preferentemente en concreto reforzado.

Graf. 25

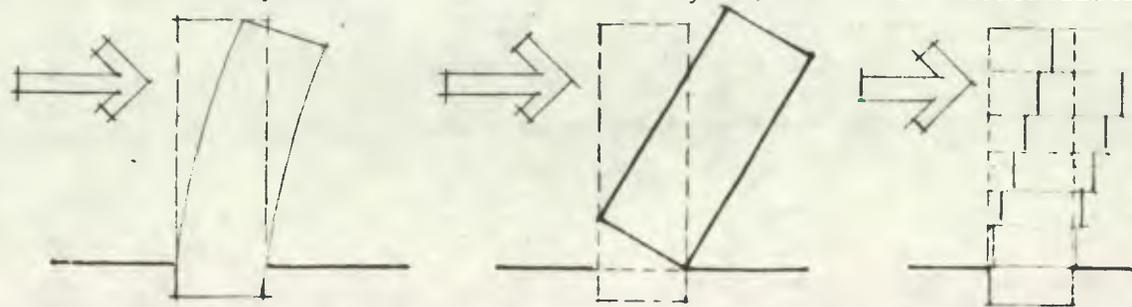


3.5 ESTRUCTURAS VERTICALES.

Son los sistemas cuya característica principal es su proyección predominantemente vertical y anclados al suelo. Estos sistemas pueden recoger las cargas en planos horizontales a grandes alturas y desde allí conducirlas o transmitir las al suelo a través de su cimentación.

Los sistemas verticales dirigen y transmiten las cargas por un mecanismo de vector, masa o superficie activa, por lo que su mecanismo no es realmente propio. Sin embargo constituyen un grupo de estudio aparte en virtud de que todos presentan una característica esencial: el bloque en conjunto constituye una viga en voladizo empotrada al suelo y por lo tanto se dan en él los esfuerzos de corte y flexión (ver graf. 26). Sin embargo, su comportamiento no se puede explicar completamente como un voladizo y debido a su altura es muy importante la estabilización horizontal.

Graf. 26

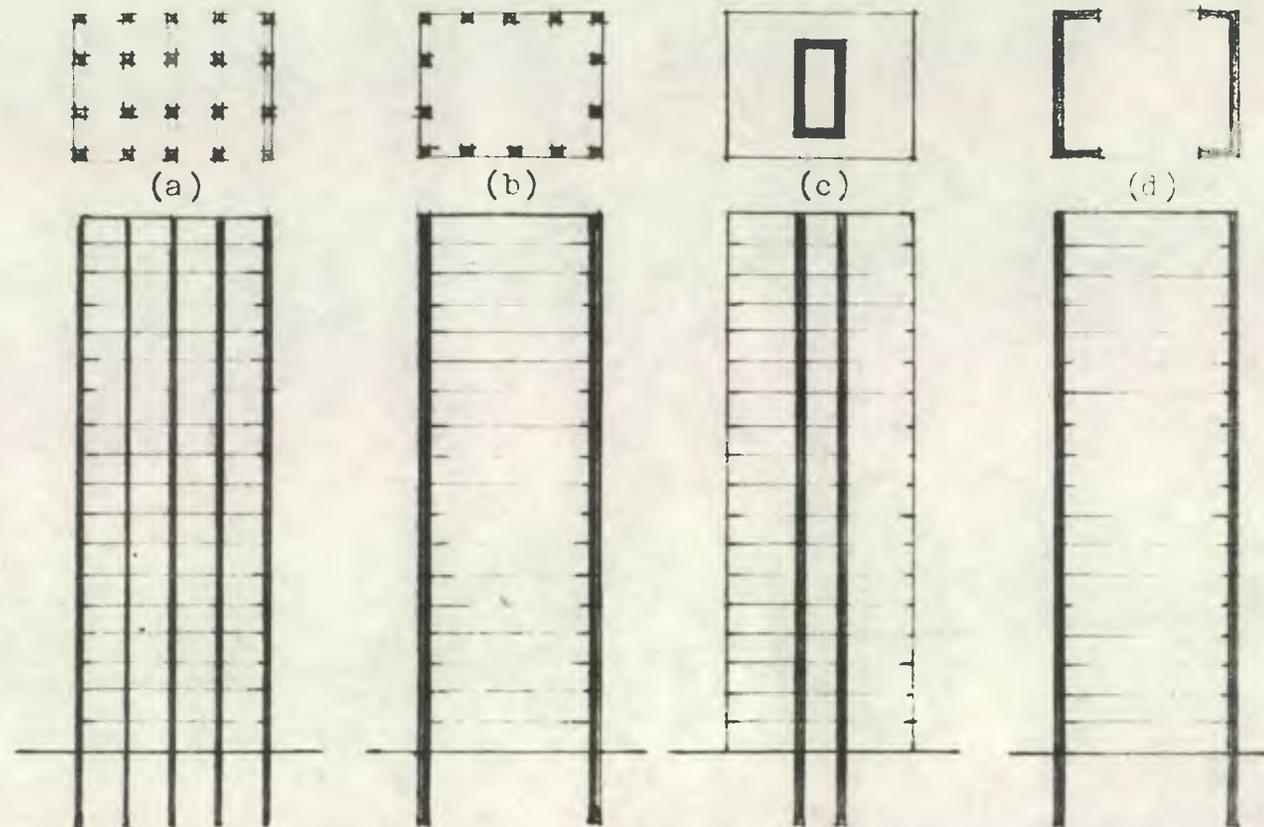


Uno de los objetivos del proyectista al hacer uso de estos sistemas debe ser la reducción al mínimo de los elementos verticales (columnas/muros) de conducción de cargas. Además es necesario para la económica transmisión de las mismas que dichos elementos sean continuos.

Existen básicamente cuatro formas de acción para este sistema, siendo:

- A. Sistema Reticulado.
- B. Sistema Periférico o Perimental.
- C. Sistema en Voladizo o Núcleo Central.
- D. Sistema de Muros de Corte. (Ver graf. 27).

Graf. 27.



Para la estabilización de estos tipos estructurales se utiliza la rigidización por triangulación en los diferentes niveles, anclaje por medio de cables tensores, rigidización a través del espesor de los elementos verticales y horizontales, utilización de nervios a cada cierta distancia vertical, estabilización a través de la forma en planta (curva) y naturalmente el sistema de muros de corte.

Es importante que las estructuras verticales constituyan un único volumen para que actúe monolíticamente ante la acción de las cargas. Además se requiere para el eficiente funcionamiento, el uso de plantas regulares que tengan bien y centricamente, localizado su centro de masa con el objeto de evitar efectos de torsión o deslizamiento por corte.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EDIFICACIONES

CONSIDERACIONES GENERALES.

En el capítulo I se ha expuesto la capital importancia que en la producción de un objeto arquitectónico tiene la estructura.

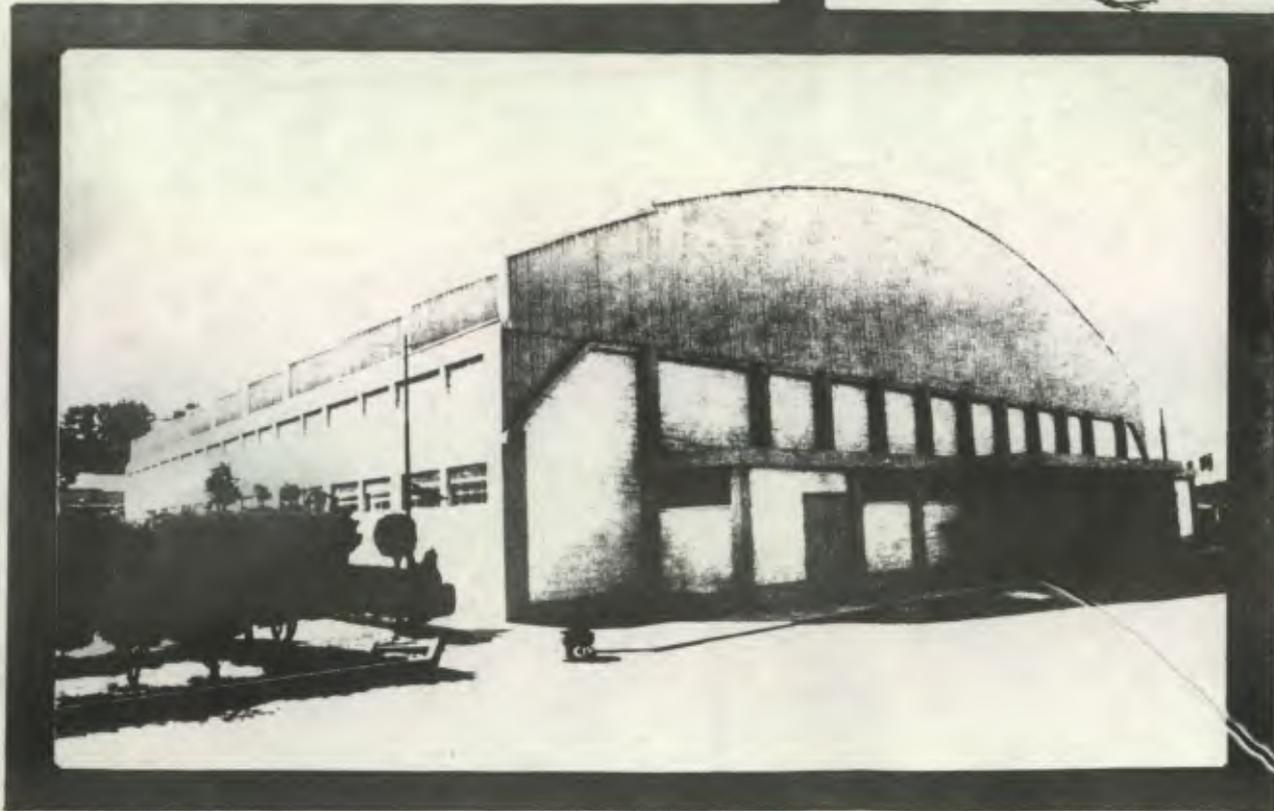
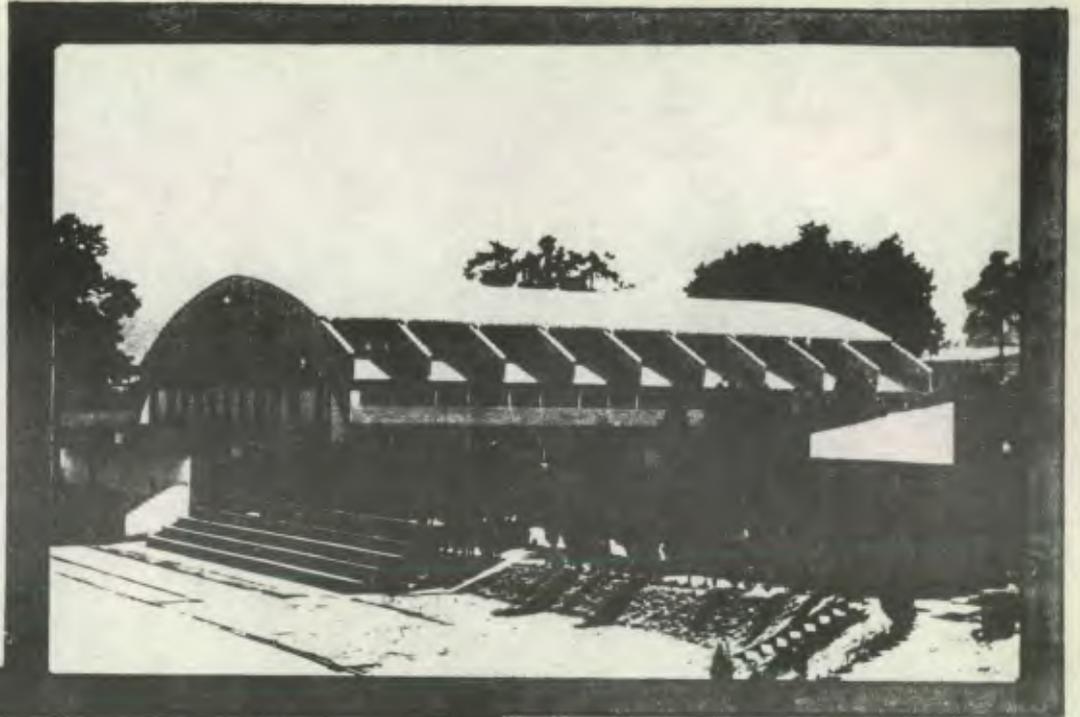
En el acto creador que la concepción de un sistema estructural significa, intervienen innumerables condicionantes que el arquitecto debe considerar y cuyo equilibrio sin duda alguna, es una tarea sumamente compleja en virtud de que los parámetros de evaluación de algunos de ellos no son cuantificables.

Las mas comunes y que el arquitecto maneja con relativa facilidad son: las funcionales, las constructivas, las económicas y las propias estructurales entre otras. Sin embargo, dentro de ellas mismas existe subdivisiones tales que, para realizar una evaluación con todos los elementos de juicio, se necesita estar en el papel y posición de planificador en las circunstancias propias de cada caso. Veamos por ejemplo, como las condicionantes funcionales pueden subdividirse en: espaciales, ambientales (ventilación e iluminación), y otras; las constructivas en referentes a sistemas constructivos en función del desarrollo de la tecnología para un lugar y momento dados, y referentes a materiales de construcción en función de su disponibilidad (calidad y cantidad). Las económicas entran a considerar factores como costos de mano de obra, de materiales, de equipo y herramienta necesaria, de tiempos de construcción, etc.

Para los objetivos y propósitos del presente estudio, sin hacer caso omiso y sin pretender quitar el valor que unas y otras variables tienen, se hace un análisis de edificios con énfasis específico en los aspectos estructurales; contemplándose otros aspectos solo cuando por razones obvias y/o conocimiento de causa pueden enriquecer el estudio.

Los edificios en cuestión han sido seleccionados en virtud de los significativo o representativo en relación a algún sistema estructural, lo que no significa mayor o menor grado de eficiencia estructural. No significa tampoco que los aquí presentados sean todos los casos susceptibles de estudio, ya que por razones de accesibilidad al material de investigación (planos), era pertinente tomar solamente una muestra representativa.

GIMNASIO TIPICO C.D.A.G.



Proyecto: C.D.A.G.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Gimnasio típico C.D.A.G.
- Dimensiones: En sentido longitudinal 9 módulos de 5.00 mts. = 45 mts.
En sentido transversal Arcos de 38.85 mts. de luz.
- Función: actividades deportivas y culturales diversas.
- Localización: No tiene lugar único y preciso por ser típico.
- Sistema Estructural: Estructura Triangular.
- Tipo Estructural: Arcos por triangulación con tres articulaciones.
- Año de Planificación: 1,981.
- Observaciones: Entre los ejes 1 y 2 se ubican el vestíbulo, locales de acceso a los graderíos y ventanillas cuya cubierta es una losa de concreto reforzado que se amarra a uno de los muros extremos.

ELEMENTOS DE CUBIERTA.

- Elementos de cerramiento: Lámina metálica tipo "toral" sobre costaneras metálicas perfil tipo "C".
- Elemento estructural principal: Arcos por triangulación articulados en tres puntos de perfiles metálicos, ubicados a/c 5.00 mts. con una luz entre apoyos de 38.85 m.
- Elementos rigidizantes: Ocho (8) armaduras de peralte constante (4 en cada semi/arco).

ELEMENTOS PORTANTES/ELEMENTOS DE GRADERIOS.

- Elemento estructural principal: 10 cerchas de concreto reforzado por cada graderío, formadas así. 2 columnas de 0.40 x 0.40 + 1 columna de 0.40 x 0.60 de concreto reforzado y una viga inclinada de 0.40 x 0.60, de concreto reforzado.
- Otros elementos estructurales.
Losa de concreto reforzado de 0.12 m de espesor, para el pasillo. Gradass prefabricadas de concreto reforzado formando Huella/contra huella.
- Elementos rigidizantes: 3 vigas de concreto reforzado de 0.40 x 0.60 atravesando las cerchas de cada graderío.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal:
 - Zapatatas de concreto reforzado tipo I y tipo II que soportan a las cerchas del graderio.
 - Zapatatas de concreto reforzado tipo III que soportan el sistema de Muros extremos y amarran lateralmente a los dos sistemas de cerchas.
- Otros Elementos estructurales:
 - Tensor de concreto reforzado entre cada par de cerchas opuestas.
 - Cimiento corrido de muros secundarios.
- Elementos Rigidizantes: Vigas/soleras de amarre de concreto reforzado de diversas secciones.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES

- Losa, vigas, columnas y cimientos de los locales de acceso, vestíbulo y ventanillas.
- Pequeños módulos de gradas (Para subir al pasillo de los graderios).

EVALUACION GIMNASIO TIPICO C.D.A.G.

La estructura metálica adoptada responde a dos requisitos de funcionalidad basicos en este tipo de edificios:

- Grandes luces libres de apoyos
- Grandes alturas libres de obstrucción.

La estructura es justificable si se consideran los 38.85 mts. que cubre libres de apoyo, así como la adecuación formal al proporcionar mayor altura al centro, en donde es mas requerido.

La gran flexibilidad de la lámina "total" de cerramiento permite un adecuado ajuste al perfil de los arcos, que reciben la carga de ésta y agentes externos a través de las costaneras ubicadas acertadamente en los nudos del cordón superior, provocando amarre entre arcos y con ello rigidez ante la acción de cargas laterales.

En cuanto a su expresión formal, en los arcos triangulados no se puede hablar de "forma ideal"

en virtud de que teóricamente trabajan sólo a esfuerzos normales (compresión y tracción) y por lo tanto no se dan momentos. Además un arco de tres articulaciones, como este, evita por completo las tensiones de flexión y "tienen total libertad para asentarse en forma irregular, sin deformaciones en sus dos mitades" (12). Por lo tanto, su forma obedece mas a criterios de funcionalidad, facilidad constructiva y estética adecuados a sus condiciones de apoyo.

Los arcos están colocados en sentido transversal como idealmente corresponde y apoyados directamente sobre sus cerchas correspondientes, lo que facilita la eficiente y rápida transmisión de cargas. Están constituidos por elementos cortos y rectos que no en todos los casos conservan la inclinación aconsejable (45° a 60°) (13), debido a la adecuación formal que lo justifica. Realizan la descomposición de cargas con aparente economía considerando la ligereza y poco peso de la estructura. Dicha descomposición es acaso alterada por los soportes de las costaneras del techo secundario que se tienden sobre los primeros tres tramos de cada semi-arco y que obedecen a requisitos funcionales (ver graf. aux. 2).

Las uniones entre piezas se realizan con soldadura, lo que favorece "el efecto de continuidad estática" entre piezas y además, una considerable reducción de carga muerta por peso propio, que con otros sistemas (pernos y roblones) no se logra (14).

Sin embargo, la soldadura no permite ningún movimiento en la unión de piezas lo que evita cualquier giro, obligando al sistema a desarrollar sólo esfuerzos normales (tracción y compresión).

El sistema de estabilización se logra a través de las ocho armaduras de peralte constante que atraviesan en toda su longitud y perpendicularmente el sistema de arcos.

Las cerchas que reciben a cada uno de los arcos son las encargadas de conducir las cargas al suelo y absorber el empuje provocado por éstos, circunstancia que se ve favorecida por las car-

(12) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 202. Ultimo párrafo.

(13) Escobar Jorge. Ob. cit. pag. 53.

(14) Petrucci Achille. Tecnología de la Arquitectura. Pags. 129 y 130 3a. edición Ed. Gustavo Gili, S.A. Barcelona.

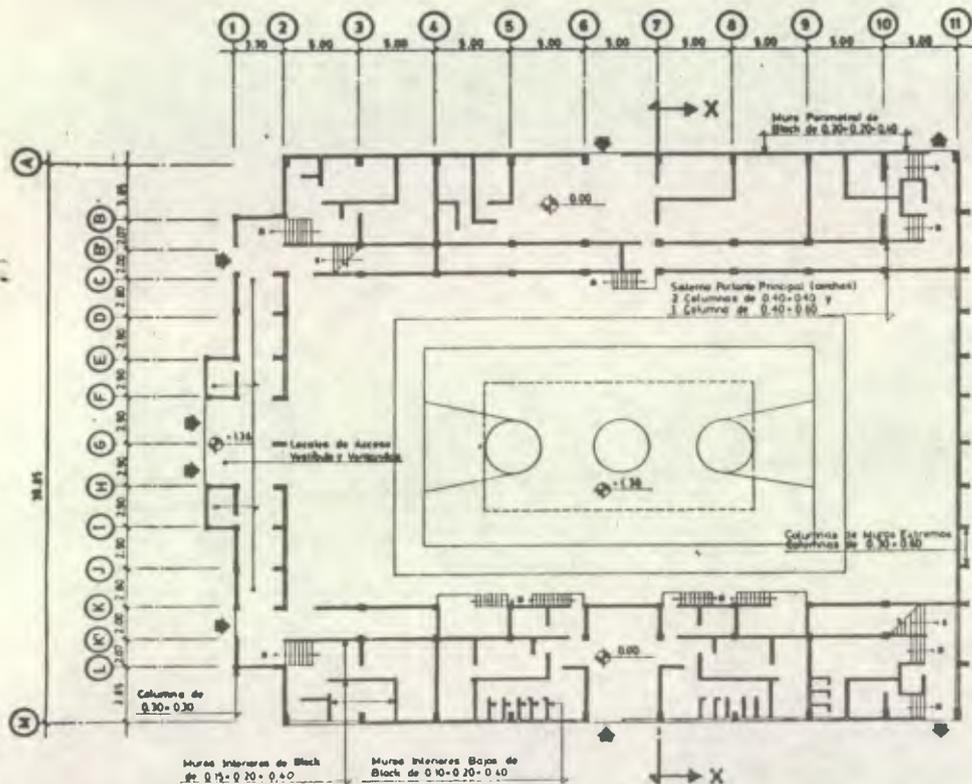
gas de los graderíos que solicitan a flexo-compresión a todos los miembros, pero principalmente a la viga inclinada de las cerchas. La viga de amarre entre zapatas (único miembro sometido básicamente a tracción) evita cualquier deslizamiento que los esfuerzos pudieran provocar a las columnas de las cerchas (ver detalle de cercha). Las tres vigas entre cerchas y las tres vigas/amarre en la cimentación proveen de rigidez ante la acción de cargas laterales.

Los dos graderíos están amarrados entre sí por diez pequeños tensores ubicados entre cerchas para introducir rigidez entre ambos. Además, el sistema de muros laterales también establece unión entre los dos graderíos a través de la cimentación (ver graf. aux. 1).

La estructura de muros interiores es independiente, evitando con ello provocar esfuerzos adicionales a la estructura principal.

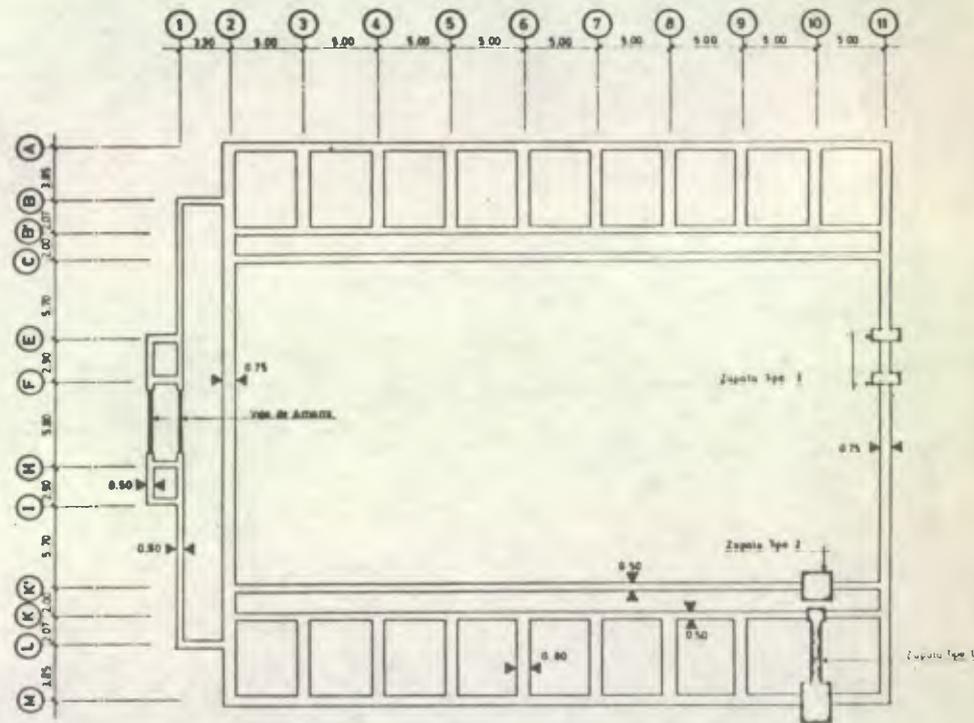
SINTESIS:

Este es un edificio en el que la expresión formal comunica de manera muy rústica y severa la esencia estructural del mismo y en el que, en buena medida, existe adecuación funcional-estructural. Los materiales son obligados a trabajar al máximo de su potencial: el acero para aligerar las cargas de la cubierta que por su luz resultaría demasiado pesada en otro material, el concreto en las cerchas portantes; éste último utilizado racionalmente en volumen y forma debido tal vez a la búsqueda de procedimientos constructivos económicos.



PLANTA

escala 1:200



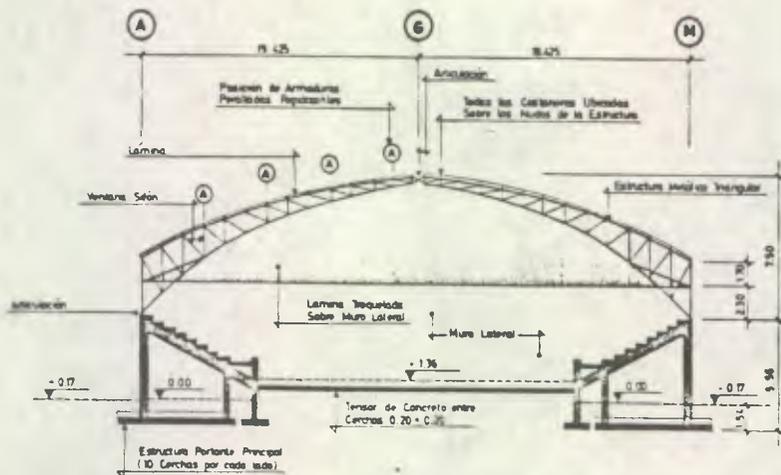
ESQUEMA DE AMARRE EN CIMENTACIÓN
GRÁFICA AUXILIAR I

escala 1:200

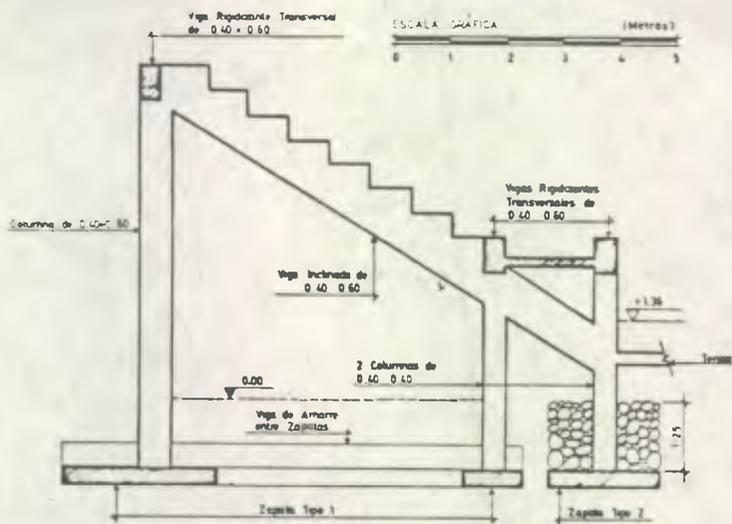


NOTA:

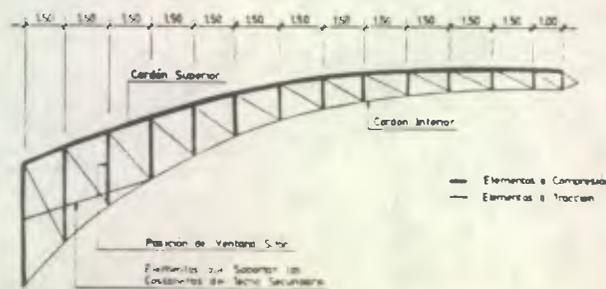
- Plano de Elaboración Propio Basados en los Planos de Taller Consultados
- Fuente de Información:
ARCHIVO DE LA DIRECCIÓN DE INGENIERIA C.D.A.G.



SECCIÓN ESTRUCTURAL POR X-X escala 1:200

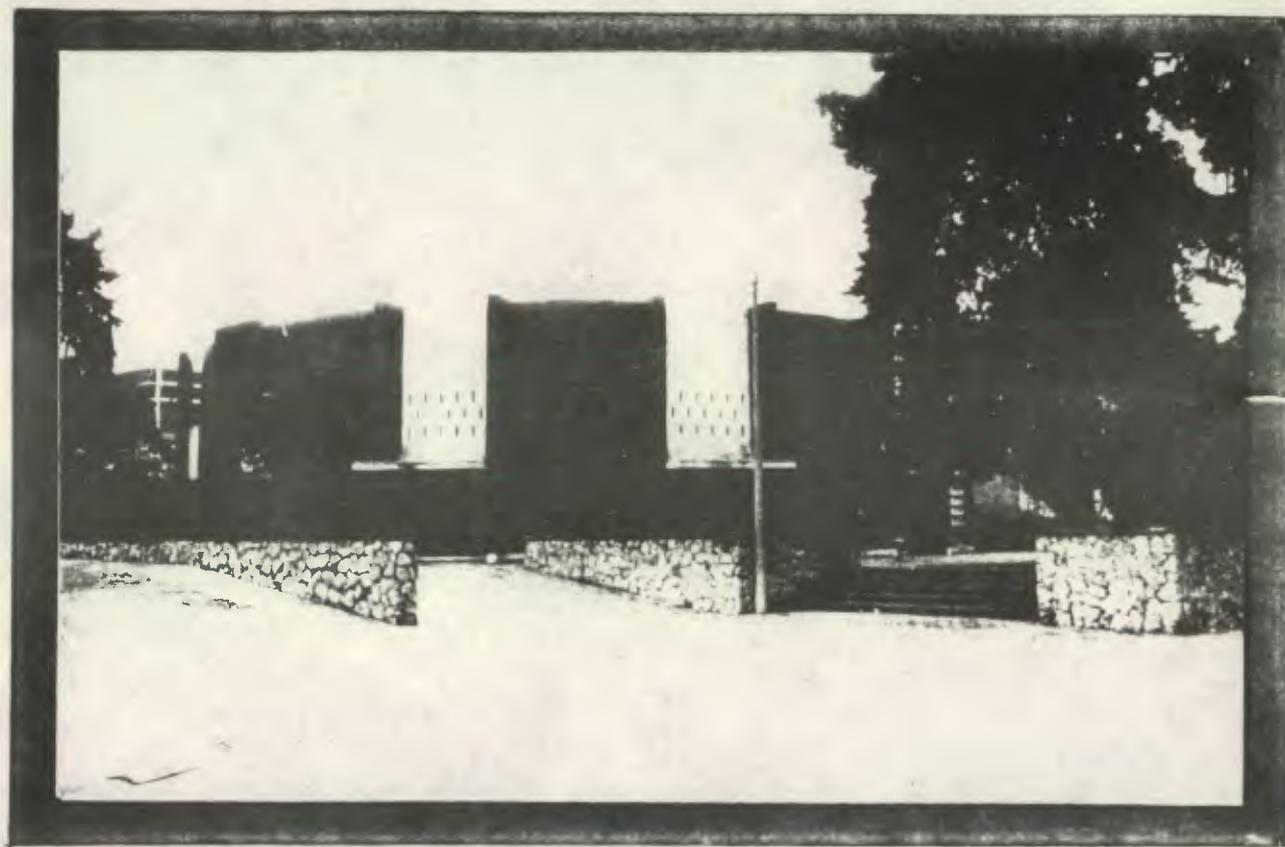


DETALLE DE CERCHAS PORTANTES escala 1:50



GRÁFICA AUXILIA 2

sin escala



TEMPLO SAN JUDAS TADEO

Proyecto: Arq. Roberto Ogarrío.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Templo Católico "San Judas Tadeo".
- Dimensiones: Planta Circular de Diámetro = 30.0 mts.
- Localización: 10 Calle de la Zona 14.
- Sistema estructural: Estructura Triangular.
- Tipo estructural: Armaduras peraltadas dispuestas radialmente.
- Año de planificación: 1,967.
- Observaciones: Las armaduras colocadas radialmente se apoyan en anillos de compresión y tracción respectivamente según la disposición y trabajo de sus elementos.

ELEMENTOS DE CUBIERTA.

- Elementos de cerramiento: Lámina ondulada sobre dueñas de machihembre.
- Elemento estructural principal: Doce (12) armaduras peraltadas radiales y concéntricas en anillos de compresión y tracción, de madera + cables de tracción.
- Otros elementos estructurales: Doce (12) vigas/ tendales entre armaduras, de madera.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante a través de la triangulación entre armaduras y vigas/tendales + duelas de machihembre.

ELEMENTOS PORTANTES.

- Elemento estructural principal: Muros de carga de Mixto (columnas y soleras de concreto reforzado + mampostería).
- Elementos rigidizantes: Ninguno.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Cimiento corrido de concreto Reforzado.
- Elemento rigidizante: Ninguno.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Elementos de mezzanine: Muros de Carga de Mixto + losa y módulos de gradas de concreto reforzado.
- Losas en voladizo de los tres accesos.

EVALUACION TEMPLO CATOLICO SAN JUDAS TADEO.

La cubierta de este edificio está constituida por lo que podríamos llamar una estructura integral, debido a que la acción resistente y la conducción de cargas se logra sólo en forma conjunta por todos los miembros que la componen, la ausencia de uno o más de ellos alteraría e inhabilitaría el mecanismo resistente.

La forma circular de la planta que demandaba una luz libre de apoyos de 30.0 m. justifica no sólo la utilización de un sistema triangular sino también la disposición radial de los elementos, de tal forma que se optimiza y reduce la dimensión de los mismos.

Las armaduras radiales están constituidas por elementos rectos y sólidos, algunos de longitud considerablemente larga, pero este hecho es aparente si se considera la sección transversal de los mismos. Con la utilización de madera para elementos sometidos a compresión y acero para los sometidos a tracción se logra hacer trabajar a los materiales de acuerdo a su potencial capacidad (ver graf. aux.1) A la acción resistente colaboran también 12 tendales que trabajan a compresión distribuidos radialmente entre armaduras y que se integran al mecanismo por triangulación con ellas, lo que provoca que la descomposición de fuerzas sea tridimensional.

Dichos tendales son de madera y cumplen una segunda función: acortar la distancia entre apoyos para la colocación del machimbre, que por la disposición radial de los elementos tiende a abrirse hacia los extremos (ver graf. aux.2). Estos elementos por su longitud y sección podrían estar sometidos a flexo-compresión, ocasionada por la deformación que su propio peso impone.

El ángulo entre barras se mantiene dentro o muy próximo a los límites aconsejables (45° a 60°) lo que indudablemente facilita la descomposición de las cargas.

Las uniones entre barras realizadas por medio de pernos, permite que exista alguna posibilidad de giro que por lo masivo de algunos miembros pudiera darse. Este sistema es el mas acorde en virtud del material utilizado y el aconsejable en "condiciones ideales" para estas estructuras (15).

(15) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 174.

El sistema es auto-estabilizador, y se logra a través de la triangulación entre las armaduras radiales y las vigas/tendales, así como por la acción de las duelas del machihombre.

El peralte generado por las armaduras corresponde a 1/10 de la luz (aproximadamente) tal y como bajo criterios de economía se sugiere para armaduras peraltadas, (16).

Las cargas son conducidas a un anillo de compresión de concreto reforzado, en el que se encuentran simplemente apoyadas las armaduras y los tendales, y que absorbe el empuje residual que las condiciones de unión pudieran provocar. Dicho anillo de compresión constituye la solera superior de las tres del muro perimetral de mampostería cuya cimentación es un sencillo y tradicional cimiento corrido, con la peculiaridad de ser circunferente. El anillo intermedio es sometido a esfuerzos adicionales debido a las cargas de las marquesinas de acceso, pero son equilibradas en parte por las cargas de la losa del coro (mezzanine).

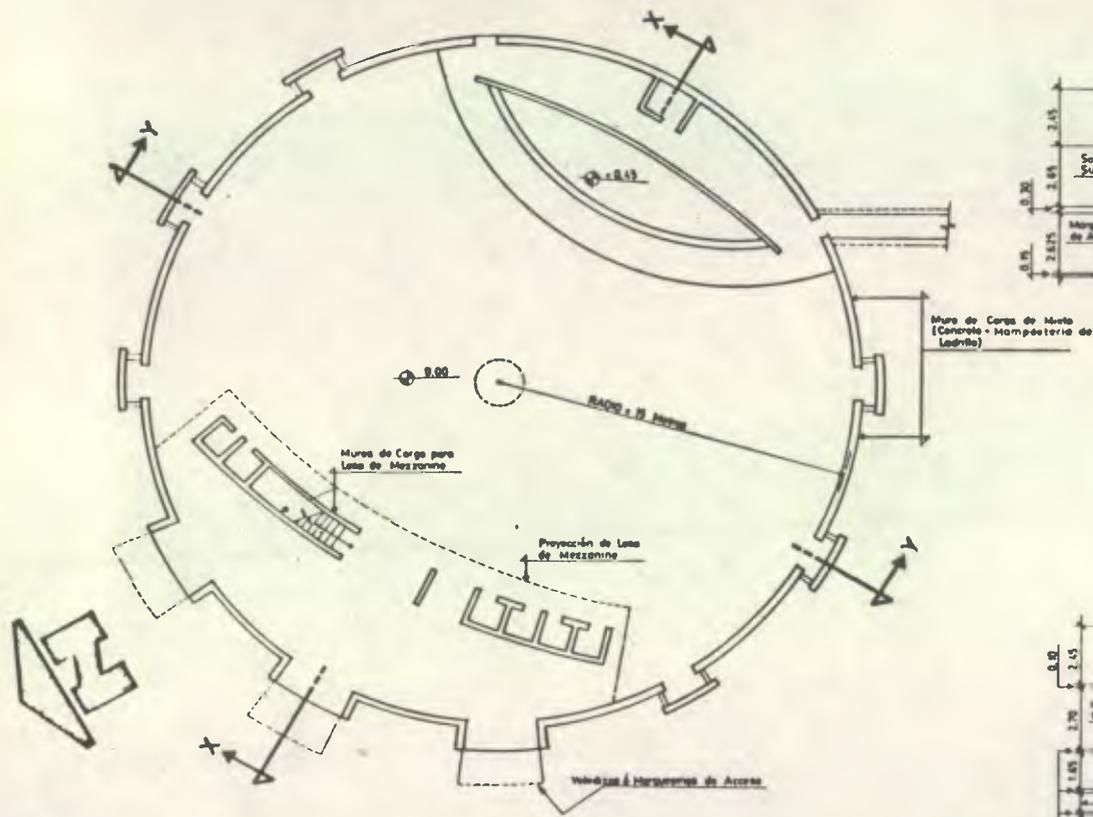
La mampostería resuelve en forma económica los requerimientos de compresión a los que básicamente está sometido el muro perimetral.

SINTESES.

El carácter integral de la estructura y la descomposición tridimensional de las cargas son probablemente las cualidades más significativas de la eficiencia de la misma, la que es cuestionable tan sólo por la aparente masividad de algunos miembros. El aspecto formal del edificio expresa claramente el trabajo estructural de sus componentes tanto interior como exteriormente.

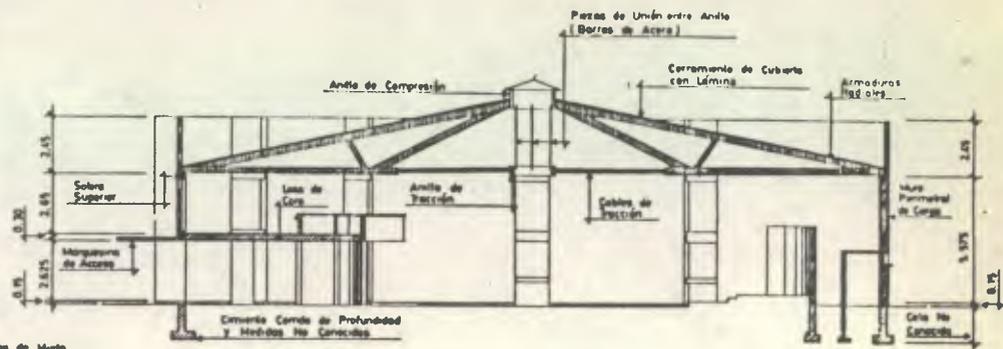
La adecuación funcional se logra en forma económica con esta estructura, que reduce el problema constructivo al ensamble y anclaje simultáneo de sus miembros.

(16) Escobar Jorge. Ob. Cit. pag. 60.



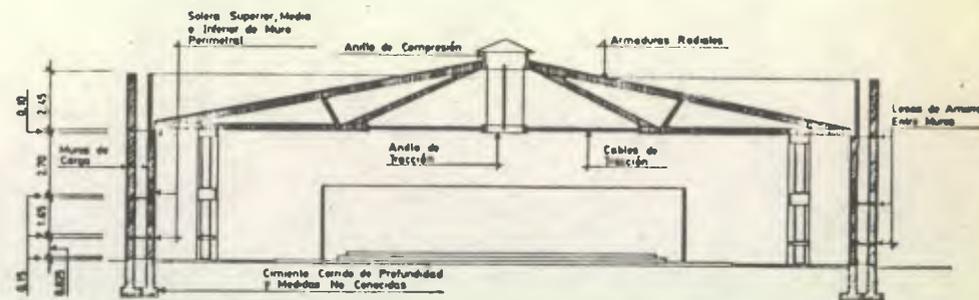
PLANTA

escala 1:125



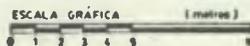
SECCIÓN/ESQUEMA POR X-X

escala 1:125



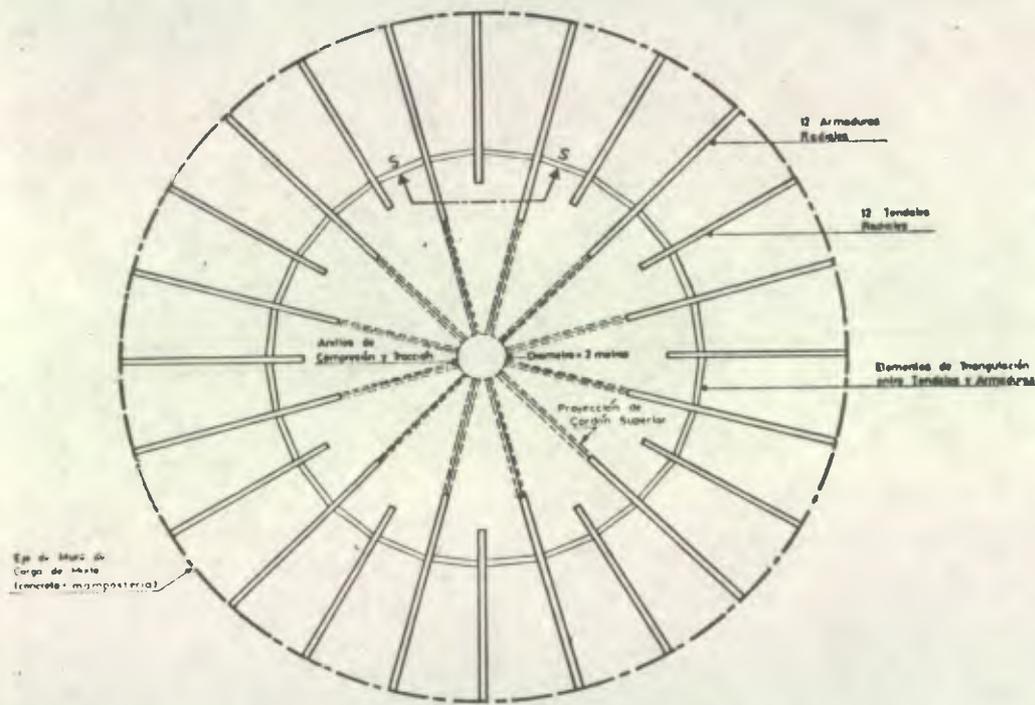
SECCIÓN/ESQUEMA POR Y-Y

escala 1:125

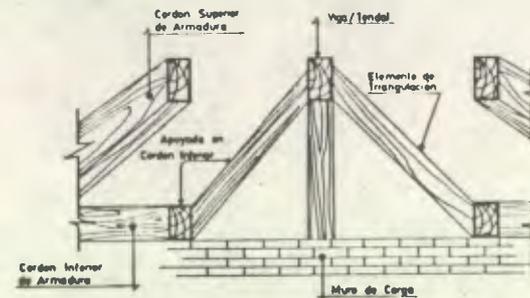


NOTA:

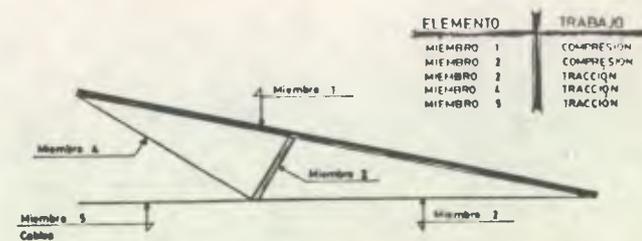
- Planos de Elaboración Propia Basados en los Planos de Taller Consultados.
- Fuente de Información: Archivo Privado Oficina Arq. Roberto Ogawa.



GRÁFICA AUXILIAR 2 (Planta de Estructura de Techo) escala 1:125

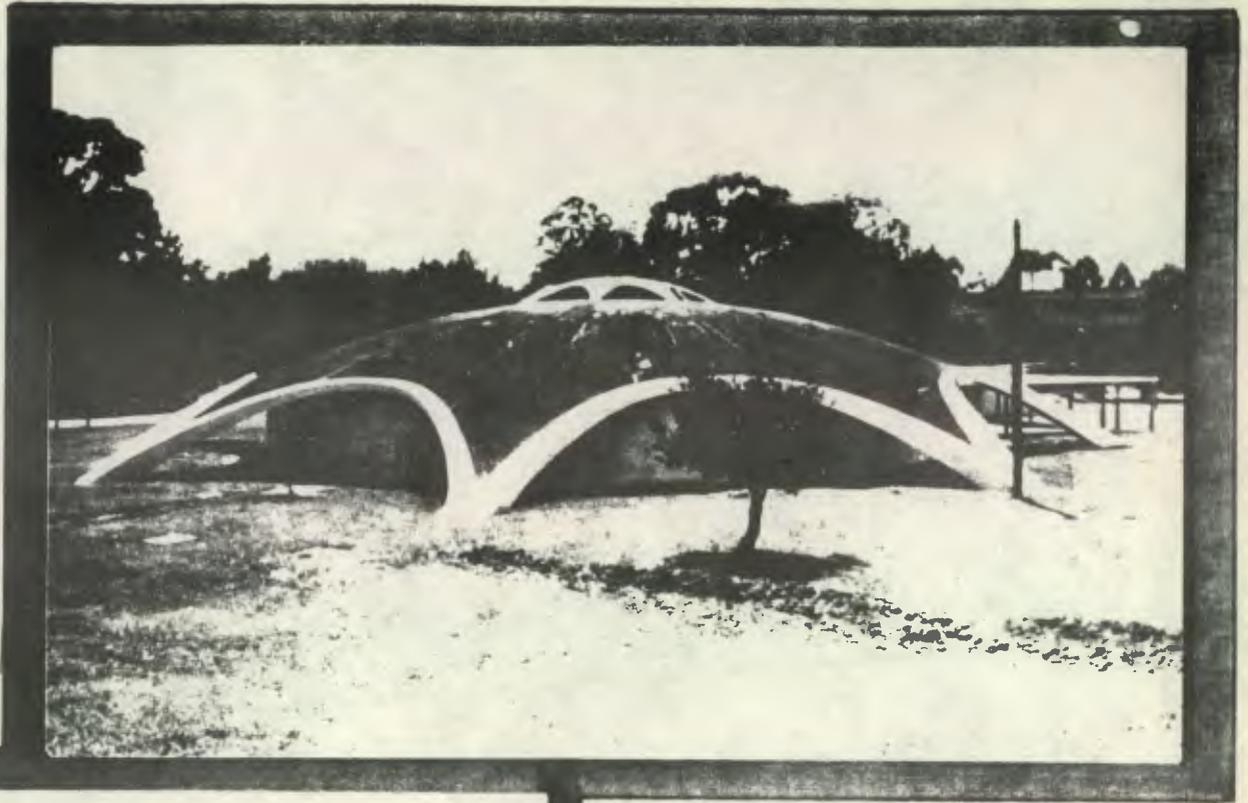


SECCIÓN ESQUEMA POR S-S sin escala



GRÁFICA AUXILIAR 1 (Esquema de Armadura) sin escala

Proyecto: Arq. Pelayo Llarena.



**AUDITORIO DE LA
FACULTAD DE
AGRONOMIA. USAC.**

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Auditorio de la Facultad de Agronomía. USAC.
- Dimensiones: Planta circular de diámetro = 28.60 mts.
- Función: Docencia, reuniones y asambleas diversas.
- Localización: Ciudad Universitaria zona 12, Guatemala.
- Sistema Estructural: Estructura Laminar.
- Tipo estructural: Lámina esférica.
- Año de Planificación: 1,958.
- Observaciones: La arquitectura interior, contemplaba en el proyecto original algunos locales y acabados que no se construyeron, hecho que no alteró la estructura de la lámina esférica.

ELEMENTOS DE CUBIERTA.

- Elemento de cerramiento: Lámina esférica de concreto reforzado con espesor variable (promedio 11.25 cms).
- Elemento estructural principal: Lámina esférica de concreto reforzado con espesor variable (promedio 11.25 cms.)
- Elementos rigidizantes: Ocho (8) arcos parabólicos de concreto reforzado.

ELEMENTOS PORTANTES.

- Elemento estructural principal: Lámina esférica de concreto reforzado con espesor variable (promedio 11.25 cms.)
- Elementos rigidizantes: Ocho (8) arcos parabólicos de concreto reforzado concurrentes en ocho (8) apoyos aislados tangenciales a la lámina esférica.

ELEMENTOS DE CIMENTACION

- Elemento estructural principal: Ocho (8) zapatas aisladas de concreto reforzado.
- Elemento rigidizante: Ocho (8) tirantes de concreto reforzado entre zapatas alternas.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Muro de retención (en forma de media circunferencia) de concreto reforzado.

EVALUACION DEL AUDITORIO DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA. USAC.

La planta circular del edificio hace idónea la aplicación de una lámina esférica cuya geometría es congruente con este tipo de espacio. Dada su complejidad constructiva, esta estructura es justificable para luces mayores de treinta metros, por lo tanto; en este caso se encuentra en el límite aplicable bajo criterios de economía.

La reducida altura de la lámina (en relación a su radio de giro), justificable por criterios de funcionalidad, implica que su comportamiento sea de lámina esférica rebajada (17) en la que no se dan esfuerzos de tracción en los anillos (paralelos) inferiores y por tanto el trabajo de meridianos y paralelos es a compresión; no existe eje neutro entre esfuerzos de tracción (abajo) y compresión (arriba) como en el caso de las láminas esféricas peraltadas.

En este caso el comportamiento de la superficie es similar a una cúpula y teóricamente no requiere en su construcción mas que de materiales que trabajan a compresión. Sin embargo, en la realidad el sistema de cargas que se presenta es variable (cambios de temperatura, sismos, vientos, cargas vivas por arreglos o mantenimiento de la superficie) y por lo tanto su capacidad a flexión no sólo es justificable sino necesaria.

El lucernario constituido por una lámina esférica secundaria provoca en la principal concentración de esfuerzos no deseables en ninguna estructura (18), pero pertinentes en la construcción de una lámina esférica por razones de funcionalidad (ventilación) y constructiva por la concentración de acero de refuerzo en la cúspide, que implicaría complejidad en el armado y probablemente aumento de espesor.

La misma concentración de esfuerzos es de esperarse en los bordes inferiores, en donde por el sistema de apoyos aislados que constituyen los arcos, los meridianos y paralelos tienden a alterar la dirección y sentido del flujo normal de esfuerzos (ver graf. aux. 2); pero arquitectónicamente es en este caso necesario por razones de accesibilidad, iluminación y ventilación.

(17) Carlo, Benito. Experimentals Testing of thin shells by means of Reducen Scala. pag.110, citado por: Araujo Guillermo. Estudio Estructuras de Ferrocemento. Pags. 93 a 95. Tesis Fac. de Arquitectura. USAC. Guatemala 1984.

(18) Salvador Mario y Heller Robert. Ob. Cit. pag. 218, inciso 9.2.

Los arcos que forman los apoyos cumplen una segunda función: la de rigidizar el borde inferior que bajo cargas asimétricas sufre las llamadas perturbaciones de borde, el ancho de la zona afectada podría reducirse al reducir el espesor de la lámina (19). Dichas perturbaciones son contrarrestadas en mejor forma por la acertada disposición tangencial de los arcos portantes y los apoyos aislados, con lo que se evitan cambios bruscos de curvatura no deseables en este tipo de láminas.

Dada la forma circular en planta de la lámina esférica, está sujeta al efecto de cargas tangenciales que la hacen girar alrededor de su eje, esto significa un corrimiento de la parte superior de los apoyos respecto de su base. Este efecto es contrarrestado por la disposición continua de los arcos, cuyo efecto es similar al de los apoyos tipo "Y", de tal forma que las componentes horizontales de los esfuerzos se anulan entre si, quedando sólo las verticales para ser absorbidas por las zapatas (ver graf. aux. 1).

Aunque idealmente el sistema de apoyos se prefiere articulado para evitar cambios bruscos de curvatura, el sistema de la lámina esférica en cuestión ha sido resuelto aparentemente bien con empotramiento a través de los recursos ya mencionados.

El sistema de zapatas incrementa y favorece su mecanismo resistente a través de las vigas o tirantes de amarre que rigidizan y estabilizan el sistema tanto para cargas horizontales como verticales, (ver graf. aux.1).

el muro perimetral y los interiores son estructuralmente independientes y no alteran el mecanismo de la lámina. El Muro de retención ubicado y desarrollado en media circunferencia obedece a la carga que el suelo representa y que por razones arquitectónicas era ineludible en la parte mas baja del auditorio.

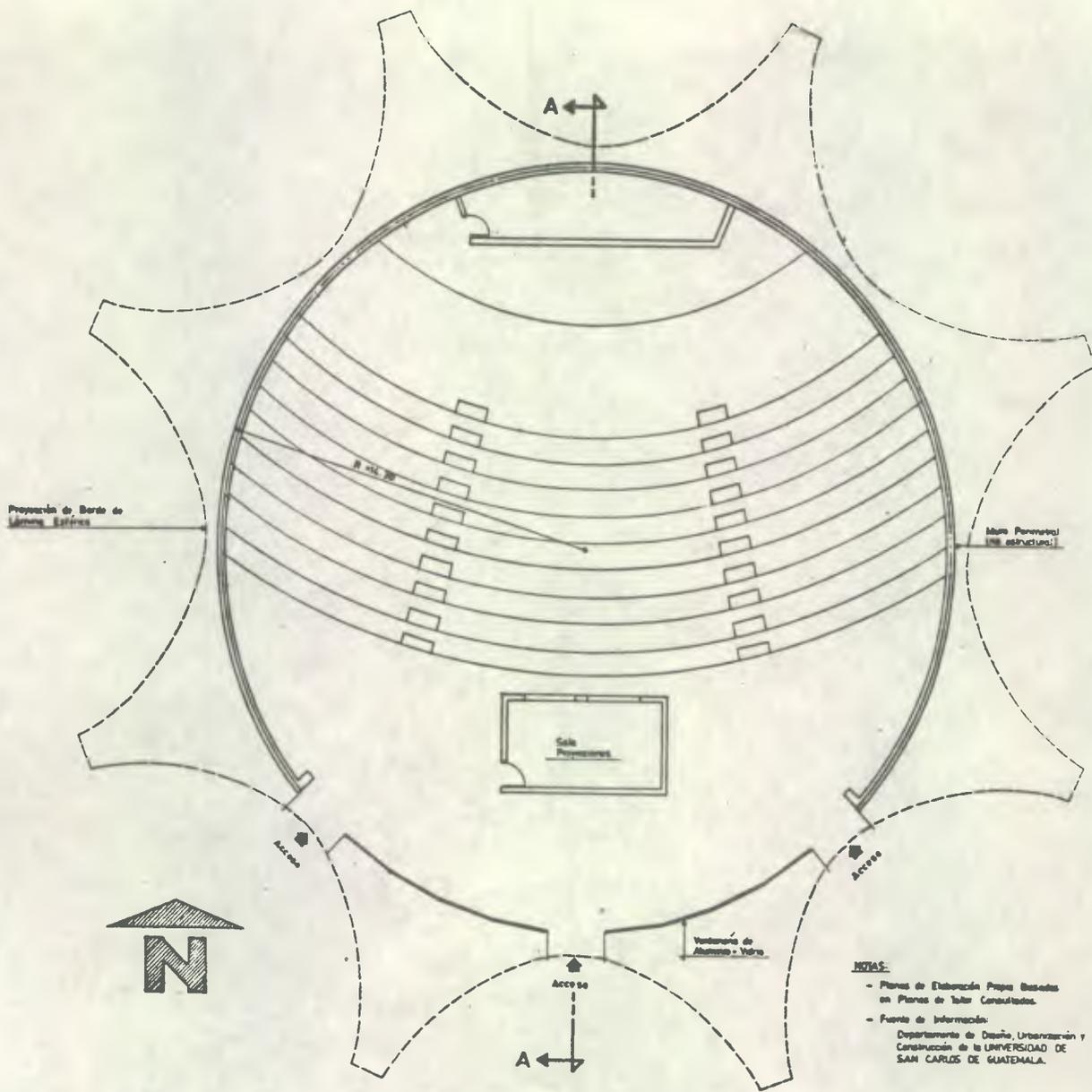
SINTESIS:

En términos estructurales, aparentemente la lámina esférica del auditorio ha sido resuelta en forma funcional, estética y económica: su expresión formal es elocuente y en términos generales la estática y equilibrio han sido garantizados. Es cuestionable tan sólo por la aparente masividad,

(19) Salvadori Mario y Hellier Robert. Ob. Cit. pag. 336 ultimo párrafo.

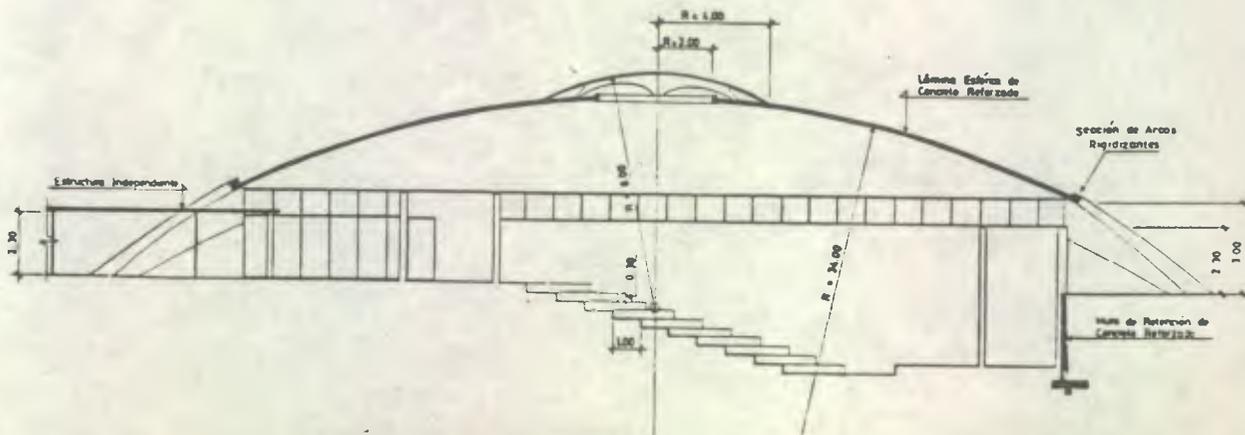
en virtud de que su espesor promedio es 11.25 cms. (15 cms. en el empotramiento y 7.5 cms. en la parte superior) para una luz de aproximadamente 30.00 mts. lo que da una relación espesor a luz de 1:265; menor a las relaciones 1:300 hasta 1:400 económicamente factibles cuando se optimiza el comportamiento laminar de la misma (20).

(20) Ibid, pag. 340, Segundo párrafo.



PLANTA DE AUDITORIUM

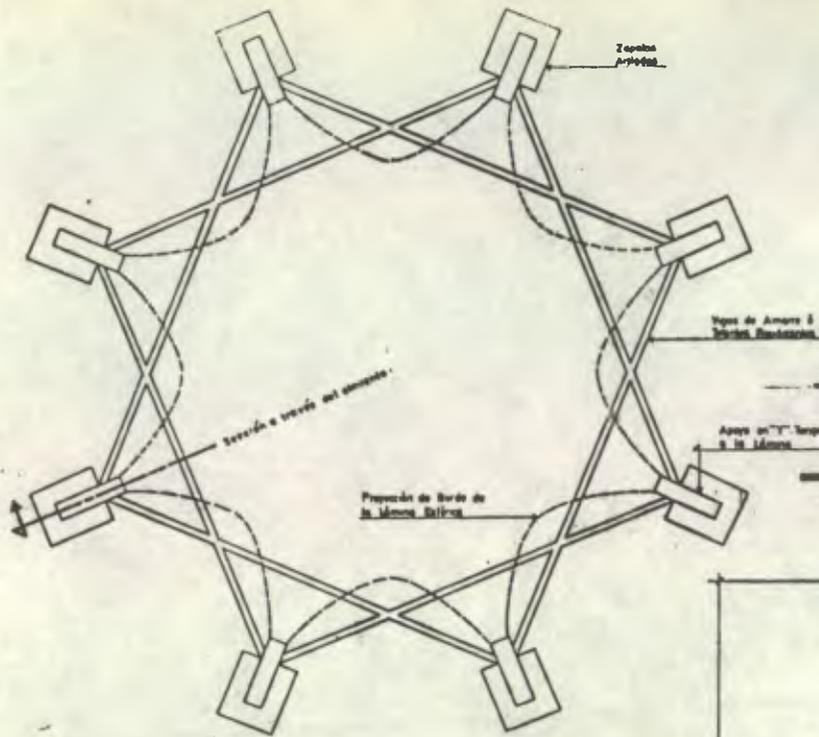
escala 1:100



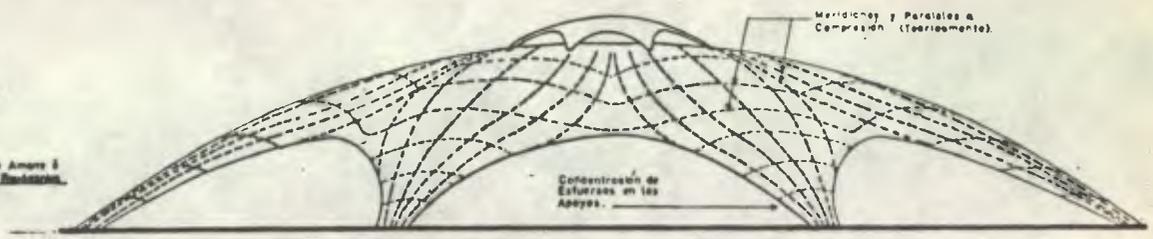
SECCIÓN A-A

escala 1:100



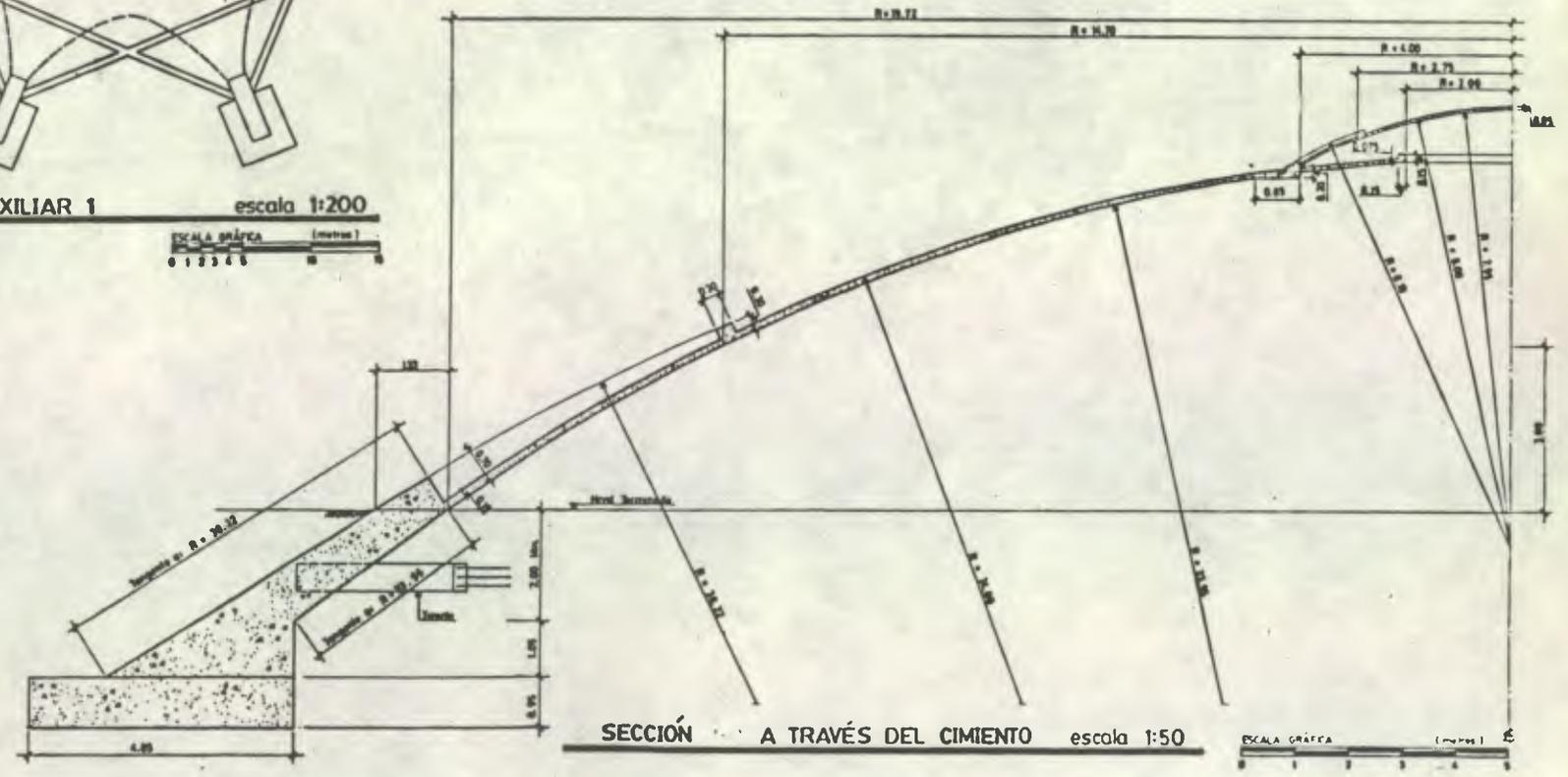


GRÁFICA AUXILIAR 1 escala 1:200



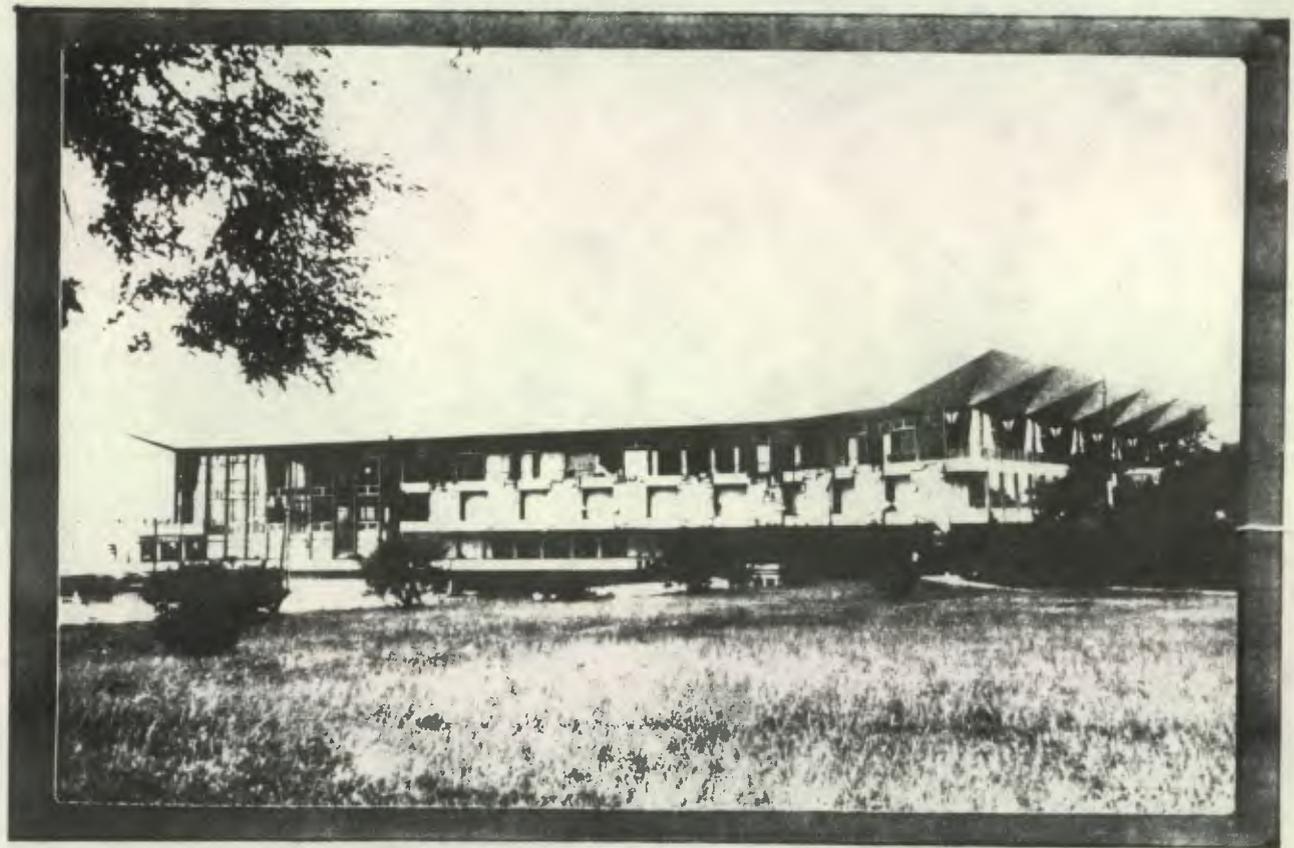
GRÁFICA AUXILIAR 2 (Lineas Isostáticas)

escala 1:100



SECCIÓN A TRAVÉS DEL CIMIENTO escala 1:50





AEROPUERTO INTERNACIONAL "LA AURORA"

Proyecto: Arq. Elvin Farrington.
Ing. Guillermo Mendoza.
Arq. Roberto Irigoyen.
Arq. Arturo Molina.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Aeropuerto Internacional "La Aurora".
- Dimensiones: El edificio es de forma irregular cuyos módulos inter-columnares son de forma paralelógrama.
- Función: Terminal Aerea:
- Localización: Zona 13, Guatemala.
- Sistema estructural: Combinación de Estructura Laminar + Estructura Masiva.
- Tipo estructural: Combinación de lámina plegada + losa nervurada oblicua.
- Año de planificación: 1,962.
- Observaciones: El proyecto original contemplaba dos lucernarios en las láminas plegadas enmarcadas por los ejes 10, 12 a 5, 7 y 12, 14 a 7, 9. En su lugar se construyeron las unidades plegadas correspondientes. Además, el cubo de servicios sufrió un replanteamiento.

ELEMENTOS DE CUBIERTA:

- Elementos de cerramiento: Lámina plegada oblicua de lima-tesa a lima-hoya, de concreto reforzado.
- Elemento estructural principal: Lámina plegada oblicua de lima-tesa a lima-hoya de concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes: Vigas de borde libre (extremos Norte-Sur).
Diafragma de borde libre (extremos Este-Oeste).

ELEMENTOS DE ENTREPISOS.

- Elemento estructural principal: Losa Nervurada de retícula oblicua de concreto reforzado, con vigas/nervio transversales a la retícula oblicua.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS PORTANTES.

- Elemento estructural principal: Columnas de sección elíptica constante y con remate en "Y" hacia la lámina plegada de cubierta, de concreto reforzado.

- Elementos rigidizantes: Losas nervuradas de entrepisos y lámina plegada de cubierta.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Zapatas aisladas de áreas (5.0 x 5.0 mts.) y sección constante, de concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes: Información desconocida (no aparece en planos obtenidos).

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Muros de retención de concreto reforzado, en sótano.
- Módulos de gradas ubicados en posiciones diversas, de concreto reforzado.
- Mural al exterior en tercer piso, de concreto reforzado.

EVALUACION DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL "LA AURORA"

Con un espesor de 15 cms., las unidades plegadas de la cubierta cubren áreas paralelógramas con diagonales de 10.0 y 30.0 mts. respectivamente (ver graf. aux. 1), lo que bajo criterios de economía puede considerarse aceptable y más aún eficiente.

Dicha eficiencia estriba fundamentalmente en la conducción tridimensional de las cargas a través de la lámina, cuyas unidades plegadas activan sus mecanismos de viga, losa y pórtico en los dos sentidos (transversal y longitudinal). Para la rigidización de éstas unidades es innecesario el uso de diafragmas intermedios en virtud de que para cada lado del paralelógramo existe equilibrio entre cargas por la continuidad material/formal de unidades y por la indeformabilidad de cada una de las cuatro componentes triangulares de las mismas, fundamentalmente para cargas laterales. Sin embargo, para los bordes libres si es aplicable el uso de continuidad en voladizo y/o diafragmas de borde como mecanismo de equilibrio para contrarrestar el empuje que flexionaría sobremanera a los apoyos (columnas) extremos.

En la sección transversal se aprecia la continuidad a manera de viga horizontal, más propicia para pliegues peraltados. En la sección longitudinal la continuidad se hace a manera de diafragma normal a la superficie, aunque no precisamente perpendicular porque el ángulo de inclinación varía,

este sistema resulta ser el mas eficiente (21)

El número de pliegues superiores por unidad es de cuatro, y su acción rigidizante es favorecida por los cuatro pliegues inferiores que a manera de vigas (véase en las secciones la concentración de masa para estos puntos) conduce las cargas hasta los elementos portantes.

La terminación en "Y" de las columnas, que constituyen el sistema portante facilita el flujo natural de las cargas evitando cambios bruscos de dirección a la vez que significa un incremento de estabilidad ante la acción de cargas laterales. Su ubicación en el sentido longitudinal al de las unidades plegadas obedece probablemente al hecho de que por ser la mayor luz, es la mas propensa a deformaciones. A sus razones estructurales se suman las de carácter constructivo, al permitir una mejor distribución y amarre del acero de refuerzo concurrente de las cuatro unidades plegadas que llegan a cada columna.

Las plantas irregulares de los entrepisos son factibles sólo gracias al reticulado oblicuo que los constituyen y cuya orientación es determinada y sugerida por la modulación inter-columnas. A excepción de los puentes que en el tercer piso conducen a los cubos de servicios todos los bordes de las losas de entrepisos tienen forma y orientación congruente con la retícula oblicua. El reticulado oblicuo conduce las cargas hasta un sistema de vigas transversales (ubicadas en los ejes A, B, C, D, E, F y G) de eficiencia no optimizada por aparentes razones estético/funcionales, que significaron una sección donde la base es mayor que la altura. El sistema es autorigidizante dado el efecto de semi/empotramiento que en los apoyos se produce por ser dos elementos en ángulo opuesto los que llegan. Las relaciones espesor a luz son menores a las 1:40 económicamente factibles en circunstancias óptimas (22).

La mayoría de voladizos cumple una función más estructural que funcional.

La orientación longitudinal de las columnas elípticas prevee la resistencia ante la aparente

(21) Engel Heinrich. Ob. cit. pag. 147.

(22) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 246. Inciso 10,3

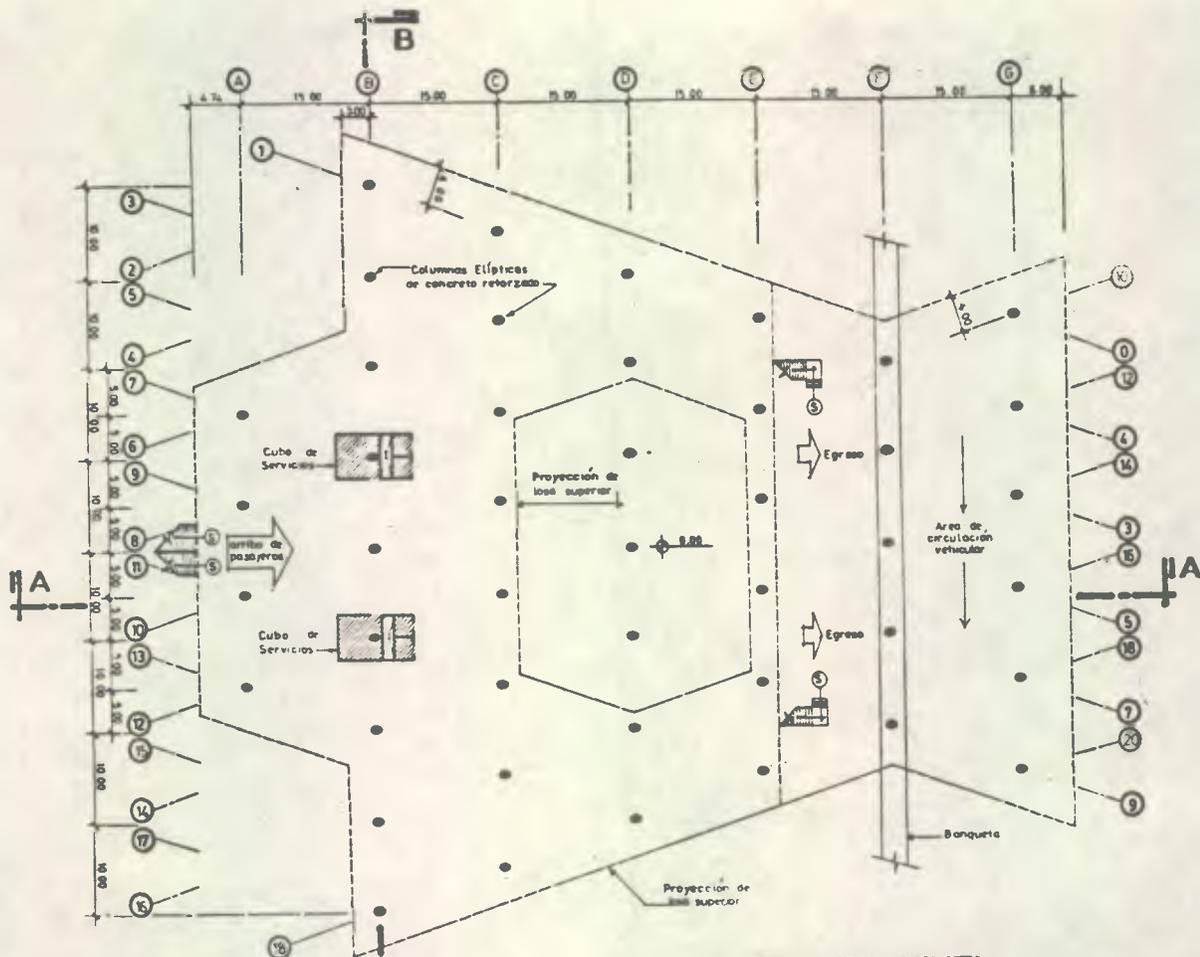
mayor sollicitud a flexión por ser en ese sentido la mayor luz inter-ejes. Sin embargo, dado que el sentido transversal existe amarrado por la viga/nervio (sumamente cargada), este efecto es contrarrestado. Pero dicha orientación es congruente con la de los nervios del reticulado y por lo tanto con las sollicitaciones de éstos.

Al sistema de columnas se suma la acción rigidizante de los cubos de servicio y de los muros exteriores de concreto reforzado en el tercer piso, que dado su volumen en relación al del edificio, pareciera ser despreciable. Los módulos de gradas implican por su disposición cargas excéntricas no deseables en condiciones ideales, pero justificables por criterios de funcionalidad.

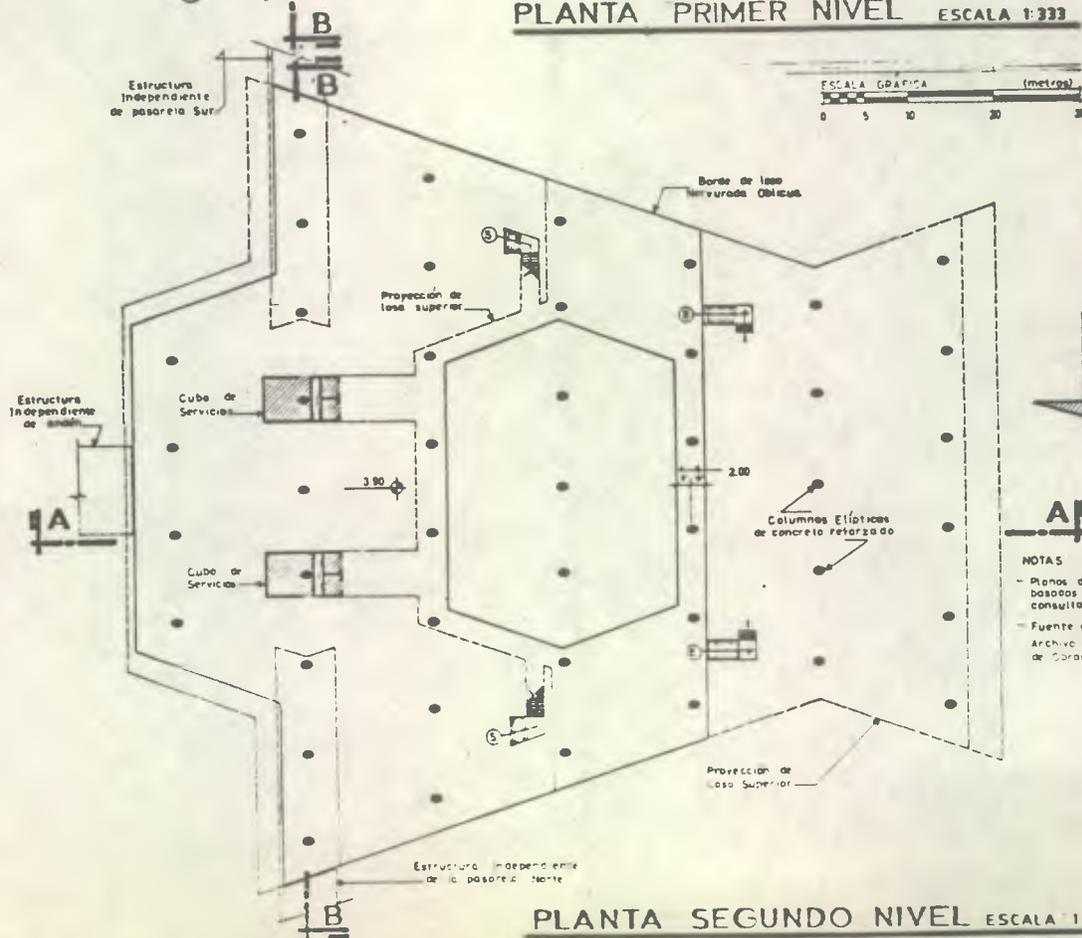
El sistema portante conduce las cargas al suelo a través de las zapatas aisladas que conforman la cimentación, cuya base y sección constante para cargas muertas desiguales podría provocar por asentamientos, esfuerzos flexionantes adicionales: si aquellos fueran desproporcionados y la resistencia del suelo irregular.

SINTESIS:

La integración arquitectónico/ estructural de la cubierta con los entrepisos es sin duda la característica más significativa de este edificio y la causa aparente de algunos desaciertos señalados. En términos generales es una estructura cuya forma expresa su contenido estructural no sólo en el plano sino en el espacio.



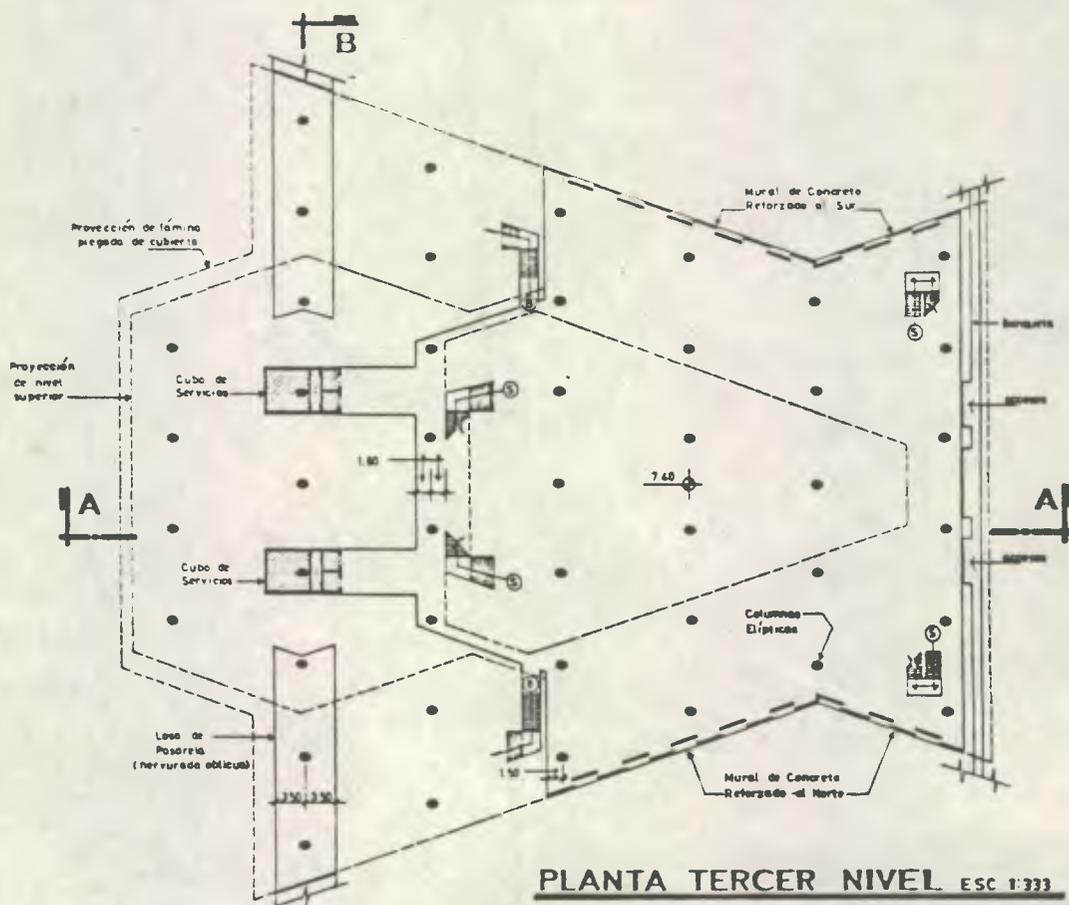
PLANTA PRIMER NIVEL ESCALA 1:333



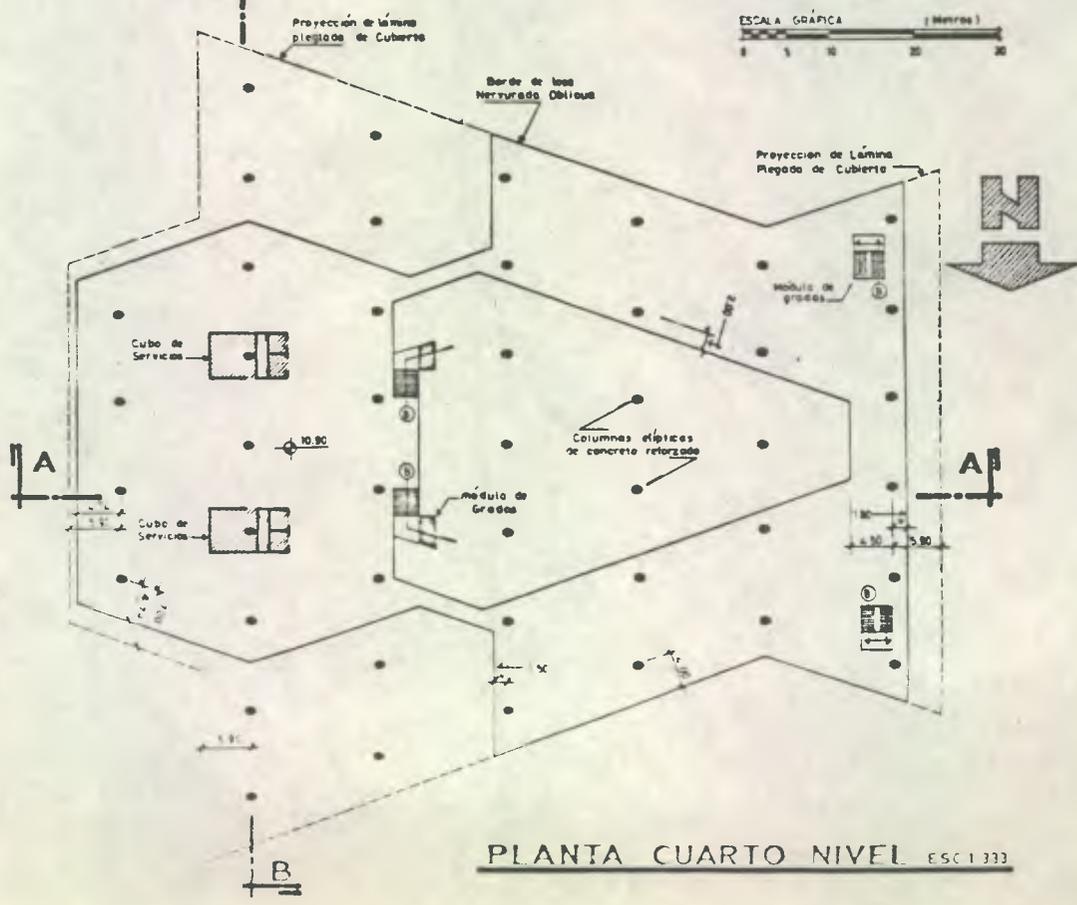
PLANTA SEGUNDO NIVEL ESCALA 1:333

NOTAS

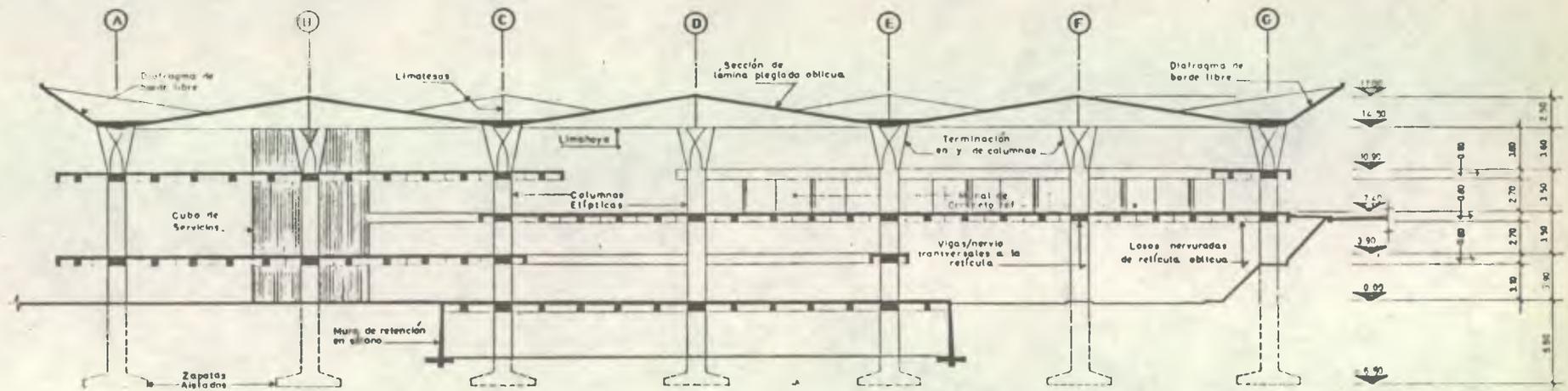
- Planos de elaboración propia basados en planos de taller consultados
- Fuente de información: Archivo de la Dirección General de Obras Públicas (DGOP)



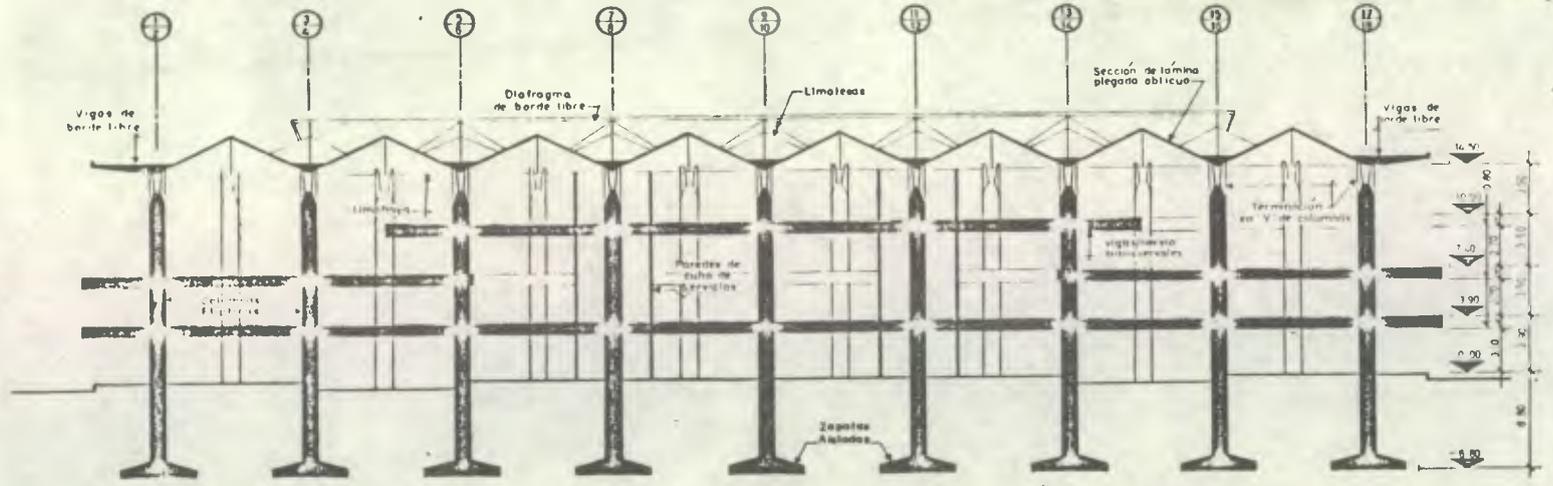
PLANTA TERCER NIVEL ESC 1:333



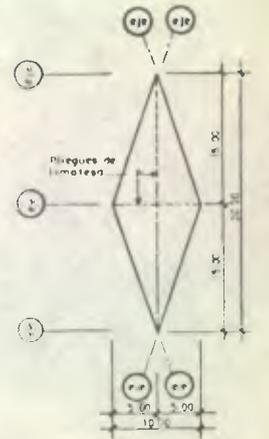
PLANTA CUARTO NIVEL ESC 1:333



SECCIÓN-ESQUEMA POR A-A ESCALA 1:200



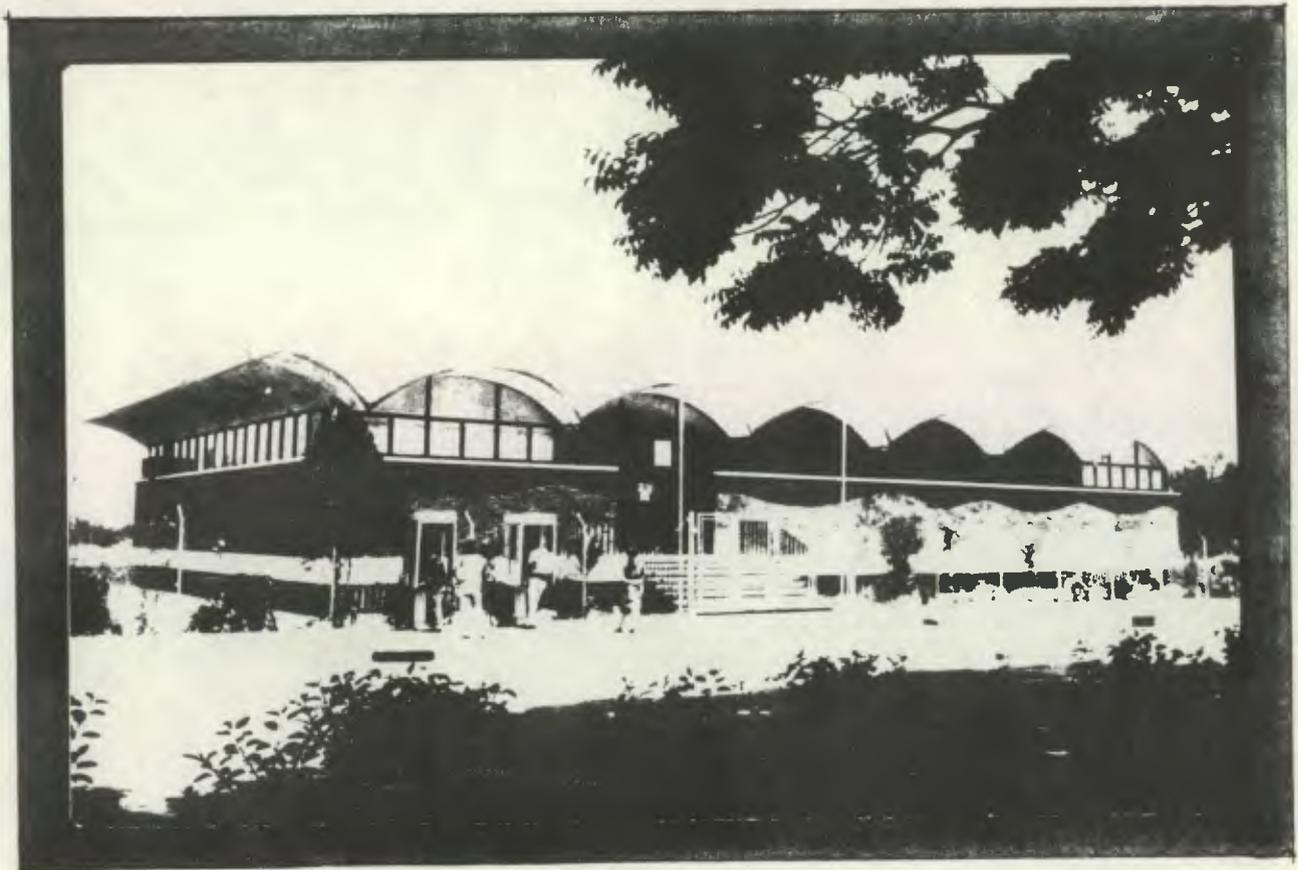
SECCIÓN-ESQUEMA POR B-B ESCALA 1:200



GRÁFICA AUXILIAR 1
(UNIDAD BÁSICA MODULAR)

EDIFICIO DE TELECOMUNICACIONES "VISTA HERMOSA"

Proyecto: Arq. Pelayo Larena
Adaptación: Ing. Alfonso Padilla.



GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Edificio de Telecomunicaciones "Vista Hermosa"
- Dimensiones: En sentido longitudinal 6 módulos de 5.00 mts = 30.0 mts.
En sentido Transversal 3 módulos de 5.00 mts = 15.0 mts.
- Función: Servicio al público de teléfonos y telégrafos.
- Localización: Calzada "Vista Hermosa", Colonia "El Maestro" zona 15, Guatemala.
- Sistema estructural: Combinación de Estructura Laminar + Estructura Masiva.
- Tipo estructural: Combinación de Lámina cilíndrica + Losa bordeportante.
- Año de planificación: 1,964.
- Observaciones: El proyecto original de 1,964 constituía una lámina plegada, el cual fue modificado y adaptado a lámina cilíndrica, conservando la distribución espacial inicial.

ELEMENTOS DE CUBIERTA.

- Elementos de cerramiento: Lámina cilíndrica de concreto reforzado de 0.10 de espesor.
- Elemento estructural principal: Lámina cilíndrica de concreto reforzado de 0.10 m.
- Elementos rigidizantes:
Cuatro (4) nervios de concreto reforzado de 0.20 x 0.40 mts. sobre la sección transversal de las unidades cilíndricas en los Ejes A, B, C y D + Lámina/viga de borde libre.

ELEMENTOS DE ENTREPISO.

- Elemento estructural principal: Losa bordeportante de concreto reforzado en ambas direcciones, de 0.15 mts. de espesor, sobre vigas perimetrales de concreto reforzado de 5.00 mts. de luz y sección 0.50 x 0.45 y 0.25 x 0.45 respectivamente.
- Elementos rigidizantes: Ninguno.

ELEMENTOS PORTANTES.

- Elemento estructural principal:
Columnas en sótano de concreto reforzado de secciones 0.25 x 0.25 y 0.25 x 0.50
Columnas en planta alta de concreto reforzado de secciones 0.25 x 0.50 y Ø 0.25

- Elementos rigidizantes:

Sillar de concreto reforzado de muros perimetrales que amarra a las columnas perimetrales de planta alta.

Muro de concreto reforzado y piedra.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Zapatas aisladas de concreto reforzado de dimensiones no establecidas.
- Elementos rigidizantes: Vigas/solera de amarre de concreto reforzado.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Módulo de gradas de concreto reforzado.
- Muro de retención en sótano.

EVALUACION DEL EDIFICIO DE TELECOMUNICACIONES "VISTA HERMOSA".

La cubierta de esta sub-estación consiste en la sucesión de 6 unidades de lámina cilíndrica larga. Dichas unidades están dispuestas, como corresponde, en sentido trasnversal del área rectangular que cubren y tienen una longitud total de 18.50 mts. incluyendo los voladizos; cada una cubre luces de 5.00 mts.

La lámina cilíndrica de 0.10 mts. de espesor sin llegar a ser masiva, no puede decirse que sea lo suficientemente liviana que podría esperarse, ya que de una lámina cilíndrica pueden esperarse espesores menores a los de una plegada y de ésta menores a los de una losa convencional; "puesto que al reducirse los momentos flexionantes trasnversales mediante la curvatura, el espesor puede decrecer perdiendo peso propia la estructura" (23). Todo esto se debe fundamentalmente al hecho de que su mecanismo resistente está basado en la acción de losa o placa, que bajo un régimen de flexión necesita incremento de masa para resistir los esfuerzos.

(23) Escobar Jorge. Ob. Cit. pag. 131.

El mecanismo de la viga lamentablemente se ve desvirtuando por la despreciable luz entre apoyos (5.00 m.) desaprovechando con ello el potencial de dicho mecanismo. Los voladizos dispuestos estimularían la eficiencia de dicho mecanismo, si este fuese efectivo.

La rigidez transversal del sistema es prevista a través de dos recursos: proyección de voladizo cilíndrico en los bordes libres de los extremos y cuatro (4) nervios sobre la lámina (ubicados en los ejes A, B, C y D). Con la ubicación de los nervios transversales en luces tan cortas se provoca que la superficie actúe como lámina cilíndrica corta, en la cual la acción principal es la de losa o placa y la de arco menor (24).

Es un edificio en el que contrastan y se equilibran la rigidez de la cubierta con la flexibilidad del sistema de columnas portantes cuya sección rectangular para los ejes b y C parece obedecer a razones decorativas, ya que la mitad de la sección puede considerarse recubrimiento de las bajadas de agua pluvial.

El sillar de concreto que sobre los muros de la planta alta amarra a las columnas perimetrales introduce rigidez al sistema y acorta la altura efectiva de las columnas afectadas a la vez que cumple su función arquitectónica (mueble/archivo/librera).

La losa de entrepiso de 0.15 mts. de espesor transmite su peso y carga a vigas bordeportantes de concreto reforzado que para los ejes B y C tienen una sección de 0.50 x 0.45 (b x h) en las que no se optimiza la masa de concreto para generación del momento resistente, cosa que si sucede en las restantes de sección 0.25 x 0.45 mts. El uso de losa sobre vigas bordeportantes resulta eficiente y aceptable para la luz de 5.0 mts. que puede considerarse en el límite de lo pequeño, esto combinado con las cargas vivas medianas que pueden esperarse hacen su uso razonablemente adecuado.

El voladizo de la losa, por su escasa luz (0.70 mts.) ayuda muy poco en la reducción de momentos y deformaciones.

(24) Engel Heinrich. Ob. Cit. pag 193.

En el sótano el sistema portante continúa con columnas de concreto reforzado de iguales dimensiones a las de la planta alta, dichas columnas en continuidad a las vigas borde-portantes constituyen una sucesión de marcos rígidos en las dos direcciones que descansan sobre zapatas aisladas. La rigidez del sistema se logra a través de las vigas/soleras de amarre.

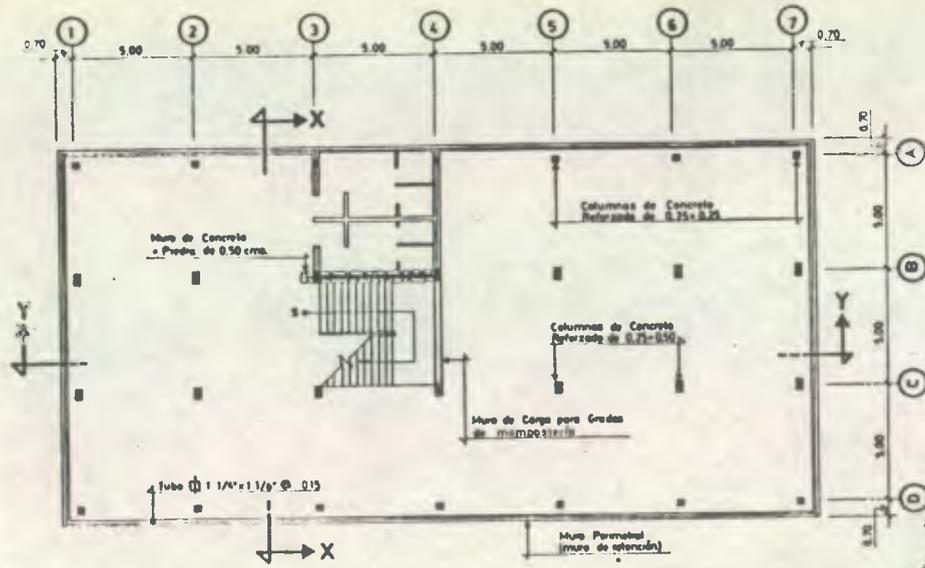
El muro de concreto + piedra adosado al módulo de gradas constituye un muro de corte y participa en la rigidez del conjunto ante la acción de cargas laterales.

Los esfuerzos adicionales inducidos por el módulo de gradas principal a la viga transversal sobre el eje 3, son mínimos, dado que el descanso se apoya en un muro de carga y transmite parte de la carga directamente al suelo. Las gradas de acceso no provocan esfuerzos mayores a ningún elemento en virtud de su escasa carga, que es transmitida a una viga apoyada en el extremo de la misma sobre dos columnas de acero de sección \emptyset 5" de reducida altura efectiva.

SINTESIS:

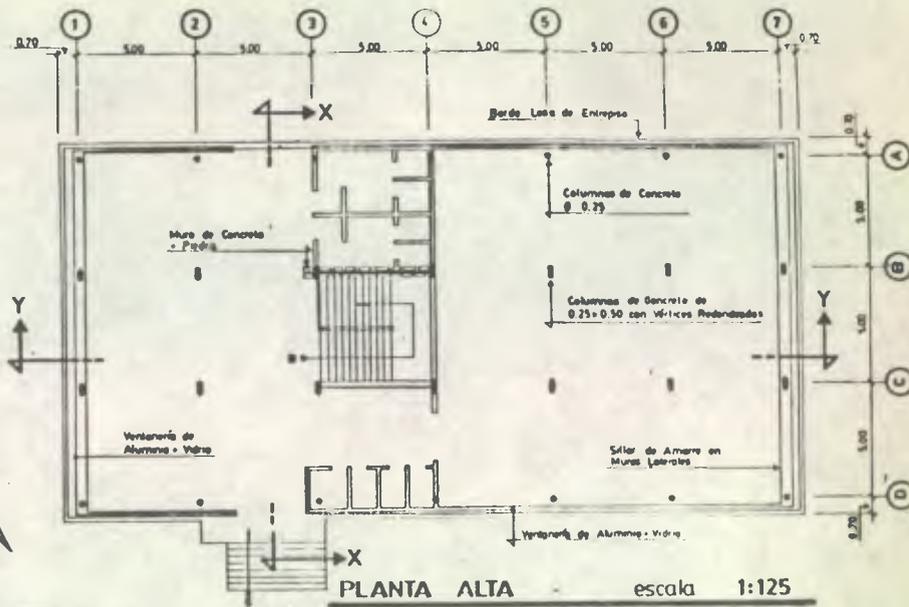
En este edificio la eficiencia de la lámina cilíndrica larga se ve desvirtuada dado que su mecanismo resistente es reducido básicamente a su acción de losa o placa, debido a que la disposición modular de las columnas portantes y los nervios transversales inhiben la acción de viga y arco. En virtud de ello se puede decir que su expresión obedece a criterios meramente formales y no estructurales, lo que no significa que el equilibrio y estática del mismo no estén garantizados.

El edificio engendra un espacio racional pero funcional, que dado el crecimiento y desarrollo de las actividades resulta hoy insuficiente.



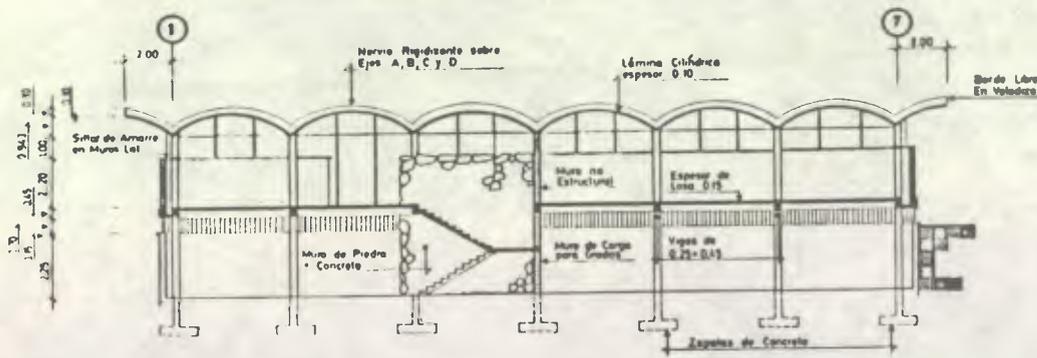
PLANTA DE SÓTANO

escala 1:125



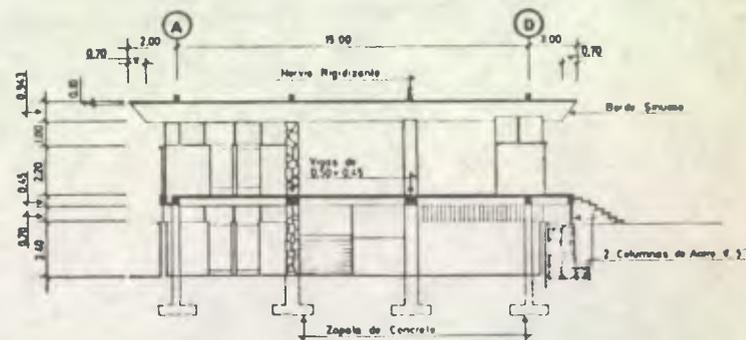
PLANTA ALTA

escala 1:125



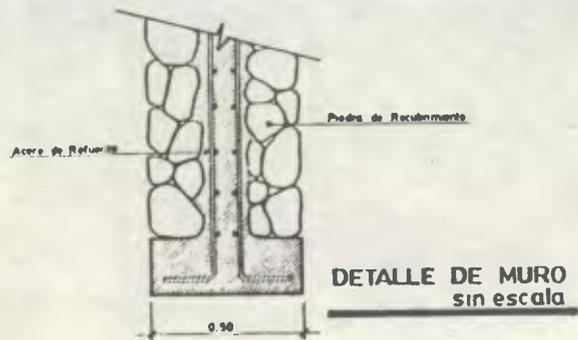
SECCIÓN Y-Y

escala 1:125

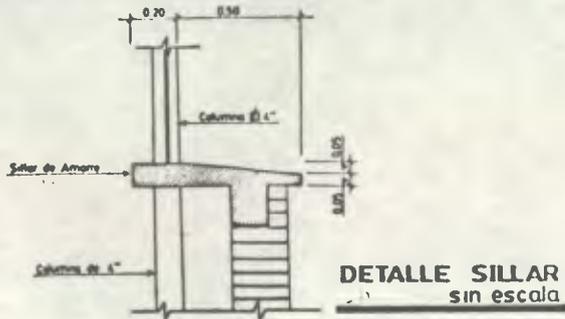


SECCIÓN X-X

escala 1:125



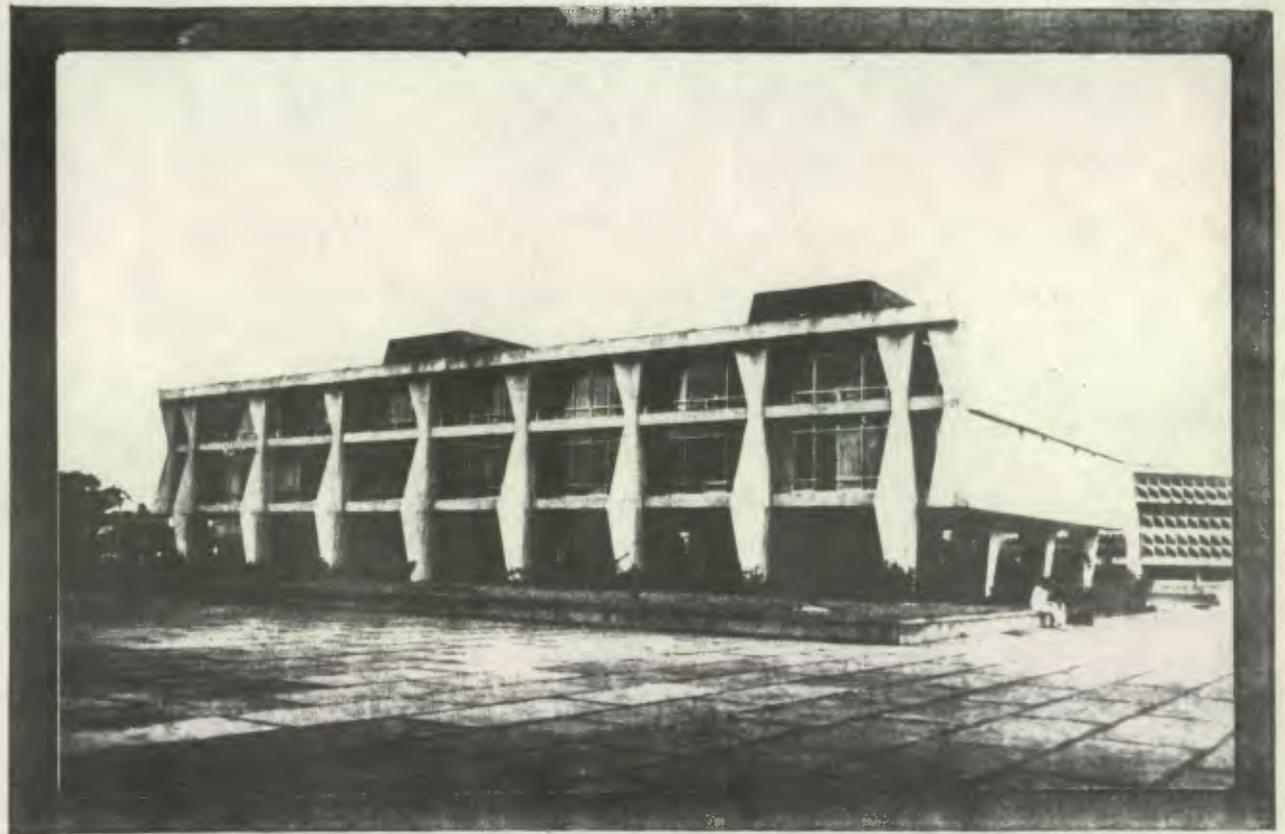
DETALLE DE MURO sin escala



DETALLE SILLAR sin escala

NOTA
 - Planos de Elaboración Propia Basados en Planos Consultados
 - Fuente de Información: Archivo de la DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS





RECTORIA USAC.

Proyecto: Arq. Roberto Aycinena
Arq. Raul Minondo
Arq. Jorge Montes
Arq. Carlos Haeussler
Ing. Adolfo Alvarez

GENERALIDADES DEL EDIFICIO

- Proyecto: Edificio de Rectoría de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Dimensiones: En sentido transversal 3 módulos de 8.00 mts = 24.0 mts. + voladizos (solo en la losa del primer nivel).
En sentido longitudinal 7 módulos de 6.00 mts. = 42.0 mts. + voladizos.
En sentido long. el sótano tiene 9 módulos de 6.00 mts. = 54.0 m. + Vol.
- Función del Edificio: Administración y servicios.
- Localización: Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.
- Sistema Estructural: Estructura Masiva.
- Tipo Estructural: Losa Nervurada Reticular Celulada.
- Año de Planificación: 1,960.
- Observaciones: En el sentido transversal, la estructura está complementada por un puente para el segundo nivel entre los ejes E-F que estructuralmente es independiente.

ELEMENTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISOS.

- Elementos de cerramiento: Losa nervurada reticular celulada de concreto reforzado + domos de plástico en tragaluces (de cubierta).
- Elemento estructural principal: Losa nervurada reticular celulada de concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS PORTANTES.

Elemento estructural principal: columnas de concreto reforzado de sección variable.

En el primer piso de 0.45 x 0.45 mts. para los ejes A1, A2, A3, A4, J1, J2, J3 y J4
en el resto de ejes la sección es de 0.70 x 0.70 mts.

En el segundo piso de 0.60 x 0.60 mts.

En el tercer piso de 0.60 x 0.60 mts.

En el cuarto piso de 0.50 x 0.50 mts.

Para los ejes B1, B4, C1, C4, D1, D4, E1, E4, F1, F4, G1, G4, H1, H4, I1 e I4, la sección de columna es variable por la forma especial en los niveles 2, 3 y 4.

(continúa "Elementos Portantes").

- Elementos Rigidizantes: Muros Laterales (Este/Oeste) de concreto reforzado para el tercero y cuarto nivel + losas de cubierta y entrepisos.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento Estructural Principal: Zapatas aisladas de concreto reforzado de dimensiones variables.
- Elementos rigidizantes: Vigas/Soleras de amarre de concreto reforzado de sección variable.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Dos (2) cubos de Servicio de concreto reforzado + mampostería de ladrillo.
- Un (1) módulo de gradas aislado, de concreto reforzado.
- Dos (2) muros de retención al Este y Oeste para el primer nivel, de concreto reforzado + piedra.
- Estructura de puente para el segundo nivel, de concreto reforzado.

EVALUACION DEL EDIFICIO DE RECTORIA DE LA USAC.

Las losas que constituyen la cubierta y entrepisos de este edificio son de tipo reticular celular y cubren módulos estructurales de 6.00 x 8.00 mts. con un espesor de 0.45 mts., su geometría rectangular guarda una relación entre lados de 1:1.33 que está dentro del rango aceptable para la retícula ortogonal como la de este edificio; en el que por su función no se esperan cargas concentradas muy grandes, en cuyo caso el reticulado celular no es aconsejable (25).

La sección de los nervios aunque de peralte constante, tiene ancho variable de tal forma que aquellos próximos a los momentos negativos tienen una sección mas resistente (ver graf. aux.2). Un recurso similar a este se utiliza en los capiteles donde el espesor no cambia bruscamente al

(25) Escobar Jorge, Ob. Cit., pag. 93. Segundo párrafo.

conectarse con la losa de temperatura dispuesta sobre los nervios, sino existe una transición (ver detalle de capitel). La concentración y disposición de masa así generada obedece a la concentración que el diagrama de momentos sugiere próximo a los empotramientos y que tiende a disminuir conforme se aleja de los mismos.

Aunque con algún grado de complicación constructiva estos dos recursos antes descritos provocan máxima eficiencia al mecanismo resistente de las losas. Este mecanismo se ve también favorecido por la prolongación de voladizos de longitud ligeramente superior a la $L/3$ aconsejable, sobre los ejes de A a J. Sin embargo en los ejes 1 y 4 sólo la losa del primer nivel cumple con esa característica, las losas del 2º, 3º y 4º carecen del voladizo aparentemente por razones estéticas en virtud de que los parteluces están adosados y monolíticos con las columnas; siendo ésta una muy significativa deficiencia de la estructura, pues los voladizos son de una característica muy importante para la efectividad de la misma (26).

La acertada disposición de tres módulos inter-columnares es otro de los requisitos que en estas retículas es aconsejable (27) y que esta estructura satisface, a excepción de los ejes E y F que por razones funcionales son interrumpidos del eje 1 a 2 y 2 a 3 en la planta del cuarto nivel.

Las relaciones espesor a luz de las losas (aprox. entre 1:13 a 1:18) están relativamente bajas pero dentro del rango 1:10 a 1:26 económicamente factibles en condiciones normales de construcciones corrientes (28).

El sistema portante está constituido por columnas de concreto reforzado de sección y forma variable para los cuatro niveles.

Para el primer nivel la escasa sección de las columnas sobre los ejes 1A, 2A, 3A, 4A, 1J, 2J, 3J y 4J obedece a la poca carga tributaria (sólo losa del primer nivel). El resto de columnas

(26) IDEM. Octavo párrafo.

(27) IDEM. Último párrafo.

(28) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 244.

tienen sección de 0,70 x 0,70 que disminuye hasta 0,50 x 0,50 para las columnas del cuarto nivel, con ello se logra una optimización de masa en función de la magnitud de la carga absorbida por nivel; este recurso aunque provoca complicaciones constructivas está de acuerdo a la lógica estructural.

Para los ejes 1B a 1I y 4B a 4I la sección de la columna es variable por la forma especial y peculiar de la misma. Dicha forma carece de lógica estructural en virtud de que no en todos los niveles se adecua a la acumulación de masa que el diagrama de momentos sugiere (ver graf. aux. 1)

Todo el sistema de columnas conduce las cargas a zapatas de concreto reforzado de dimensiones variables ajustadas a su carga tributaria, el sistema está rigidizado a nivel de cimentación con vigas/soleras de amarre de sección variable. La capacidad del sistema ante la acción de cargas laterales está favorecida por los muros laterales de concreto reforzado que del 3º al 4º nivel amarran transversalmente y cuyo trabajo estructural se suma al funcional. También ayudan a rigidizar el sistema, los dos cubos de servicios dispuestos acertadamente en simetría con el aparente centro de masa del edificio.

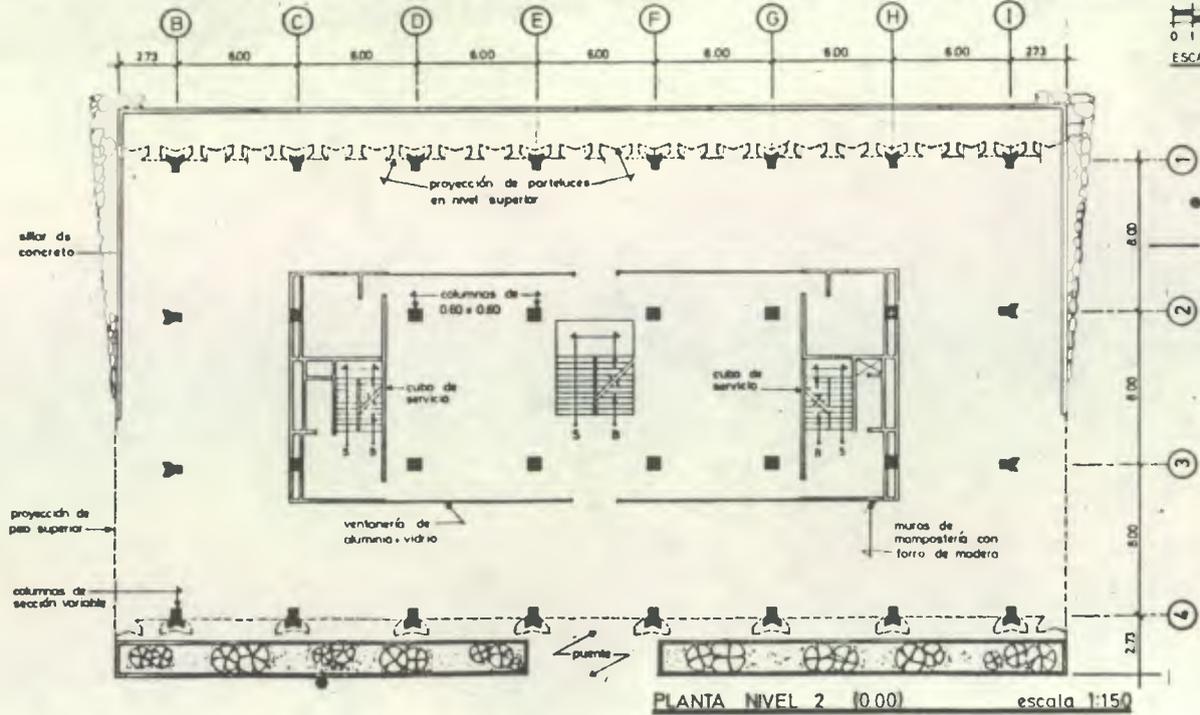
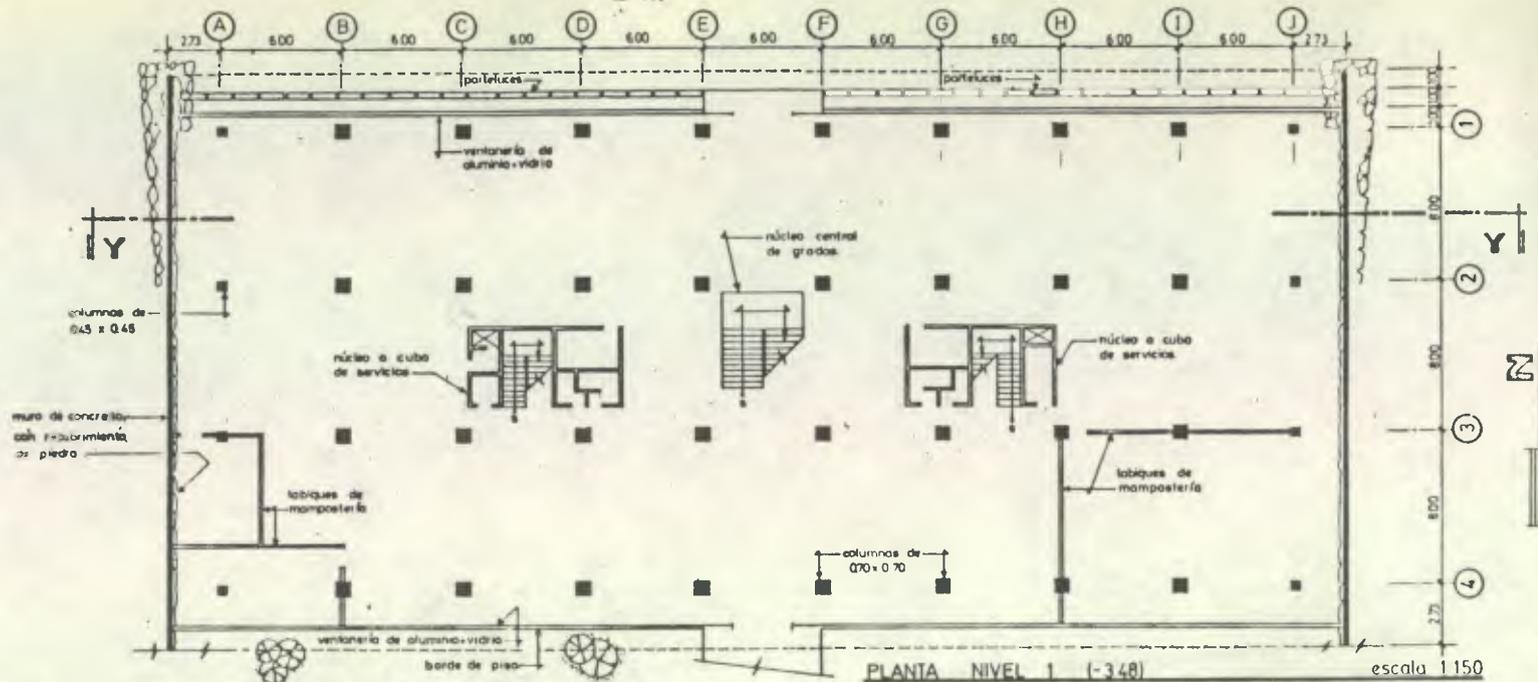
El muro de retención de concreto reforzado cumple la función de aislar los efectos flexionantes que la presión hidrostática del terreno provoca, su recubrimiento de piedra desvirtúa su trabajo eminentemente a flexión, ya que ésta trabaja preferentemente a compresión; por lo que su inclusión es justificable sólo en términos decorativos del edificio.

SINTESIS:

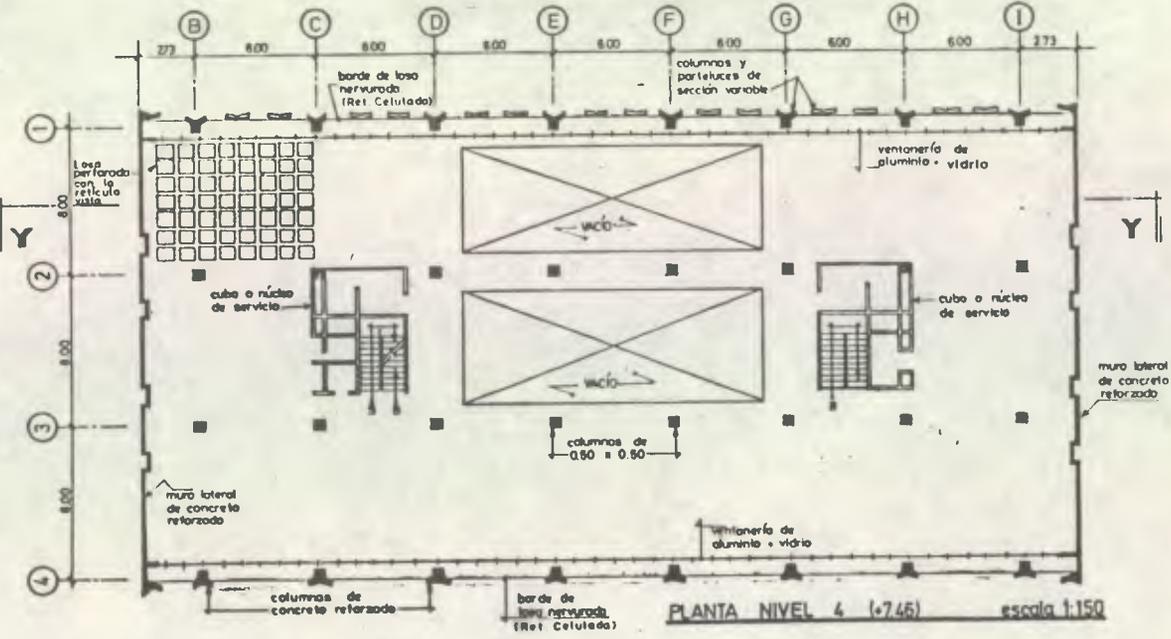
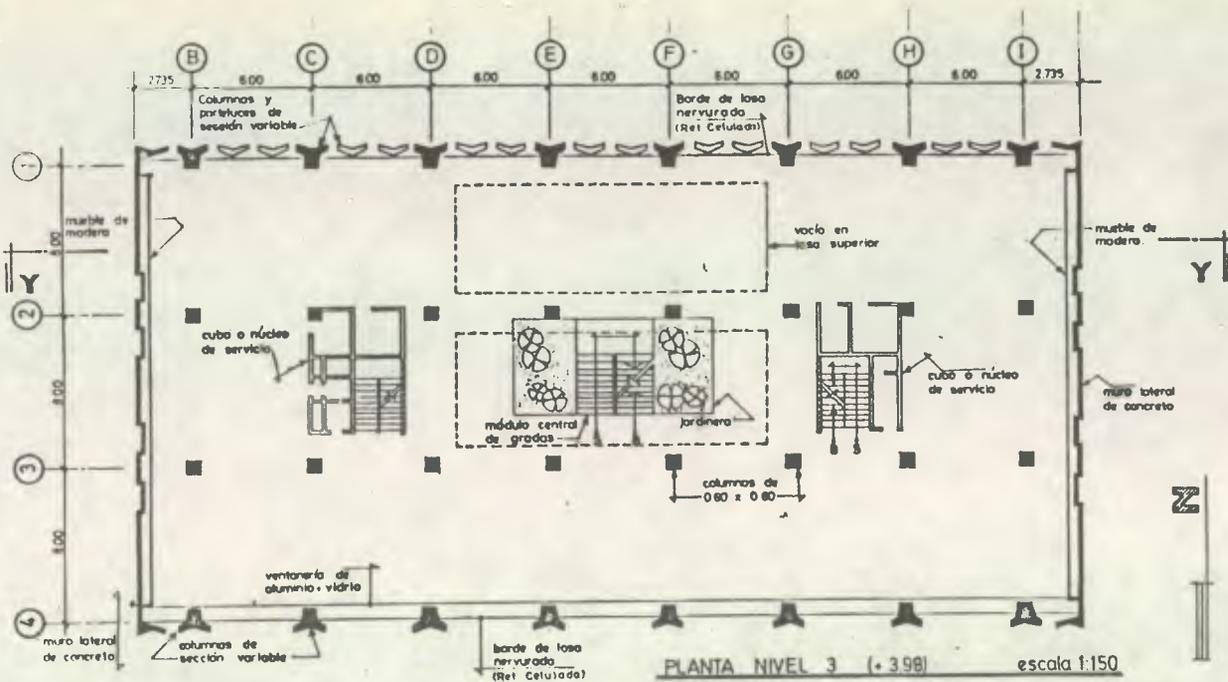
La rectoría es un edificio en cuya expresión formal contrastan innumerables aciertos con una muy significativa contradicción a la lógica estructural: sus parteluces adosados y monolíticos con las columnas, que con un estudio más preciso y detallado de sus proporciones puede satisfacer estructuralmente con el mismo efecto estético que posee.

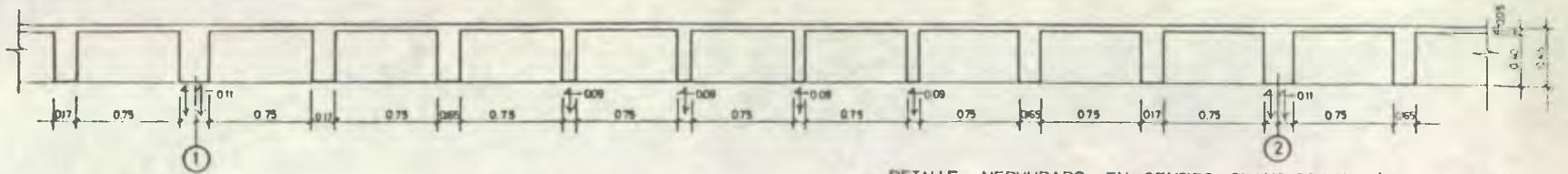
Su contenido masivo es inmejorablemente expresado por el concreto reforzado y acentuado por los elementos de cerramiento (ventanería) al exterior que revelan su trabajo estrictamente funcional/estético.

La adecuación función-estructura se logra resolver en este caso en forma económica dentro de los límites que la funcionalidad del mismo exigía e imponía. La búsqueda de eficiencia estructural es evidente en la optimización de masa en capiteles, nervios y columnas.

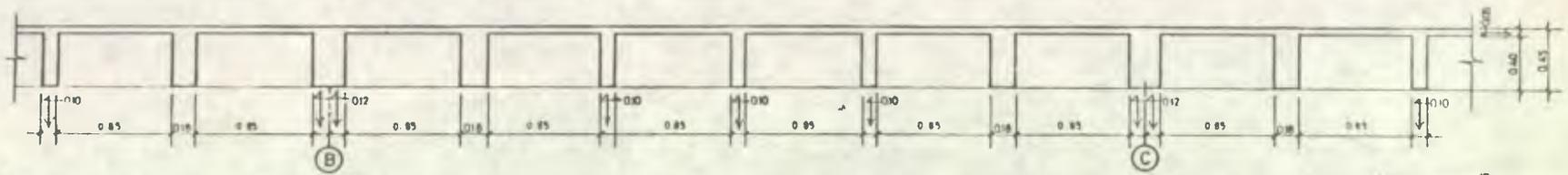


- nota:
- ① Planos de elaboración propia basados en planos de taller consultados
 - ② Fuente de Información: Departamento de Diseño, Urbanización y Construcción de la Universidad de San Carlos



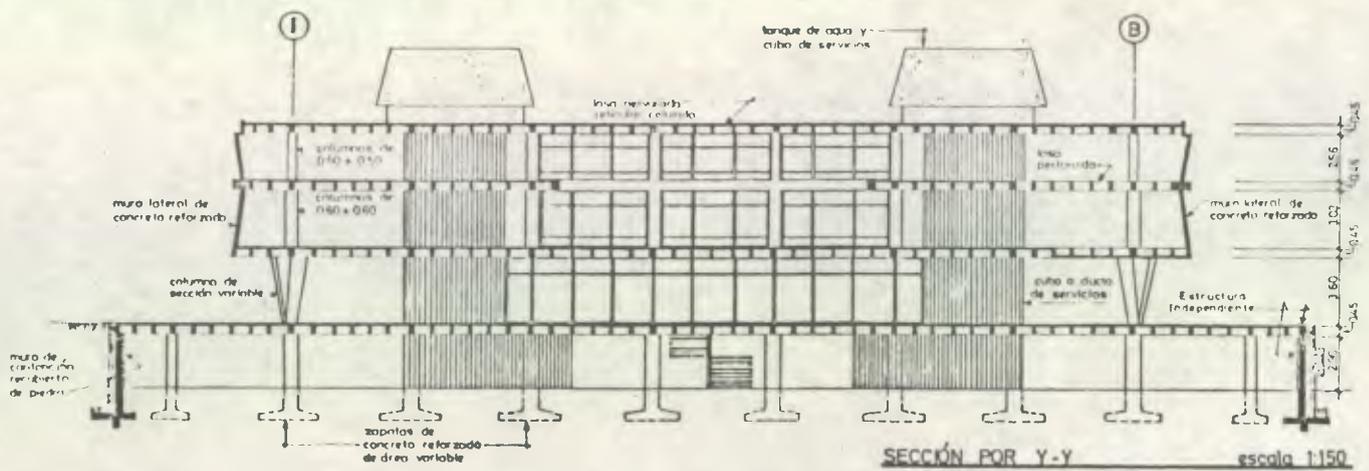


DETALLE NERVURADO EN SENTIDO TRANSVERSAL (ejes 1 2 3 y 4)



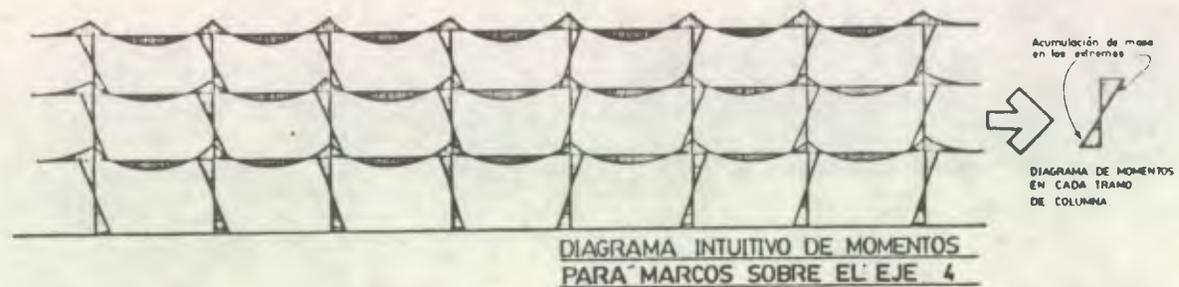
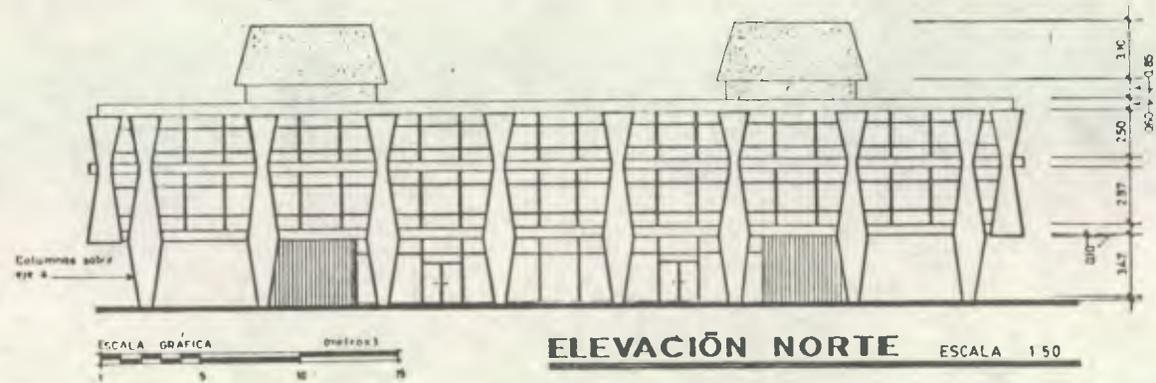
DETALLE NERVURADO EN SENTIDO LONGITUDINAL (ejes A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)
CON DETALLE TÍPICO DE CAPITEL

GRÁFICA AUXILIAR 2 escala 1:20



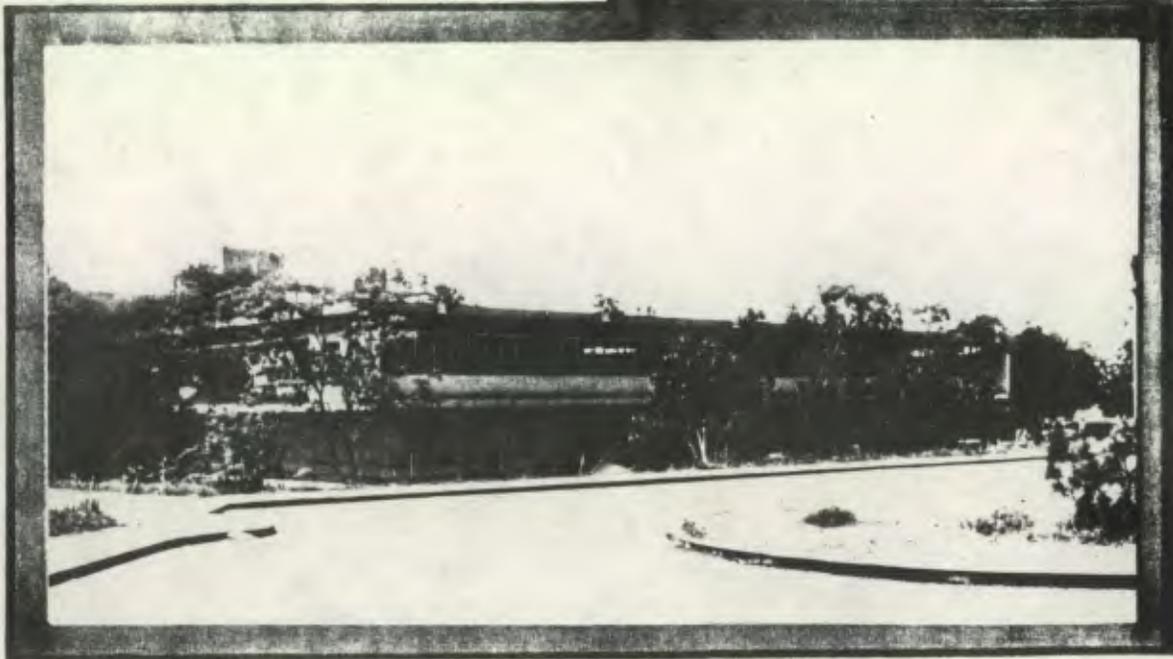
SECCIÓN POR Y-Y escala 1:150

NOTAS:
 1- los colos del nervurado no son totalmente triang, pero las variaciones son mínimas y conservar la misma tipología, es decir, faltarle ancho a los extremos y más longitud al centro.



GRÁFICA AUXILIAR 1

Proyecto: Arq. Roberto Aycinena
Arq. Raul Minondo
Arq. Jorge Montes
Arq. Carlos Haeussler
Ing. Adolfo Alvarez



FACULTAD DE
ARQUITECTURA. USAC.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos.
- Dimensiones: En sentido longitudinal 5 módulos de 9.00 mts. = 45.00 mts. + voladizos.
En sentido transversal 4 módulos de 10.50 mts. = 42.00 mts. + voladizos.
- Función del Edificio: Docencia, Administración y Servicios.
- Localización: Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.
- Sistema estructural: Losa Reticular Celulada.
- Año de planificación: 1,967.
- Observaciones: En la actualidad y a través de los años se han hecho cambios y modificaciones que no alteran el concepto estructural del proyecto original.

ELEMENTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISOS

- _ Elementos de cerramiento: Losa nervurada reticular celulada de concreto reforzado.
- Elemento Estructural Principal: Losa Nervurada reticular celulada de concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS PORTANTES.

- _ Elemento estructural principal: Columnas de concreto reforzado de sección típica y constante de 0.60 x 0.60 mts.
- Elementos rigidizantes: Losas de cubiertas y entrepisos.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento Estructural Principal: Zapatas de concreto reforzado de 0.60 mts. de espesor y dimensiones de área variables (de 3.35 x 3.35 a 2.50 x 2.50 mts.)
- Elementos rigidizantes: Vigas/soleras de amarre de concreto ref. de sección variable.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Muros de retención de concreto reforzado + piedra, de 0.50 mts. de espesor.
- Dos (2) módulos de gradas de concreto reforzado.



EVALUACION DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA. USAC.

Las losas nervuradas de tipo reticular celulado con un espesor de 0.40 mts. que constituyen la cubierta y entrepiso del edificio cubren módulos estructurales de 9.00 x 10.50 mts, luces para las que puede considerarse razonables y económico el sistema utilizado, sobre todo si se considera que por su función no se esperan en ella cargas concentradas muy grandes, en cuyo caso no sería recomendable (29).

Los nervios que constituyen el entramado están dispuestos a distancias inter-ejes de 0.90 y 0.875 mts. con una sección constante para todos y concentración de masa en la parte superior para optimizar el trabajo a compresión del concreto en las zonas de momento positivo, ya que para el momento negativo actúa la masa de los capiteles de punzonamiento. (ver sección Y'-Y').

El mecanismo resistente de las losas está acertadamente favorecida por la prolongación de voladizos de longitud ideal o muy próxima a ella ($1/3$ de la luz). A esta característica escapa la losa de entrepiso (entre sótano y planta baja) en el extremo sur, cuyas razones son probablemente de carácter estético. El voladizo que sobre el eje 3 se proyecta entre los ejes C y E adolece de una evidente deformación cuya causa parece ser su gran longitud ($1/2 L$).

También favorece la eficiencia del mecanismo, la disposición (tal y como es aconsejable) de tres o mas módulos inter-columnares (30), a excepción de los ejes 4, 5 y D que por justificables razones funcionales (iluminación y ventilación) contempla un solo módulo.

Las relaciones espesor a luz (entre 1:22 a 1:26) están dentro del rango de 1:10 a 1:26 económicamente factibles en condiciones normales de construcciones corrientes (31).

El sistema portante está constituido por columnas de concreto reforzado de sección constante para los tres niveles y todas las posiciones. Puede considerarse flexible por no incluir elementos exclusivamente rigidizantes (salvo las losas de cubierta y entrepisos), circunstancia justificable

(29) Escobar Jorge, Ob. cit. pag 93. Segundo Párrafo.

(30) IDEM. Ultimo Párrafo.

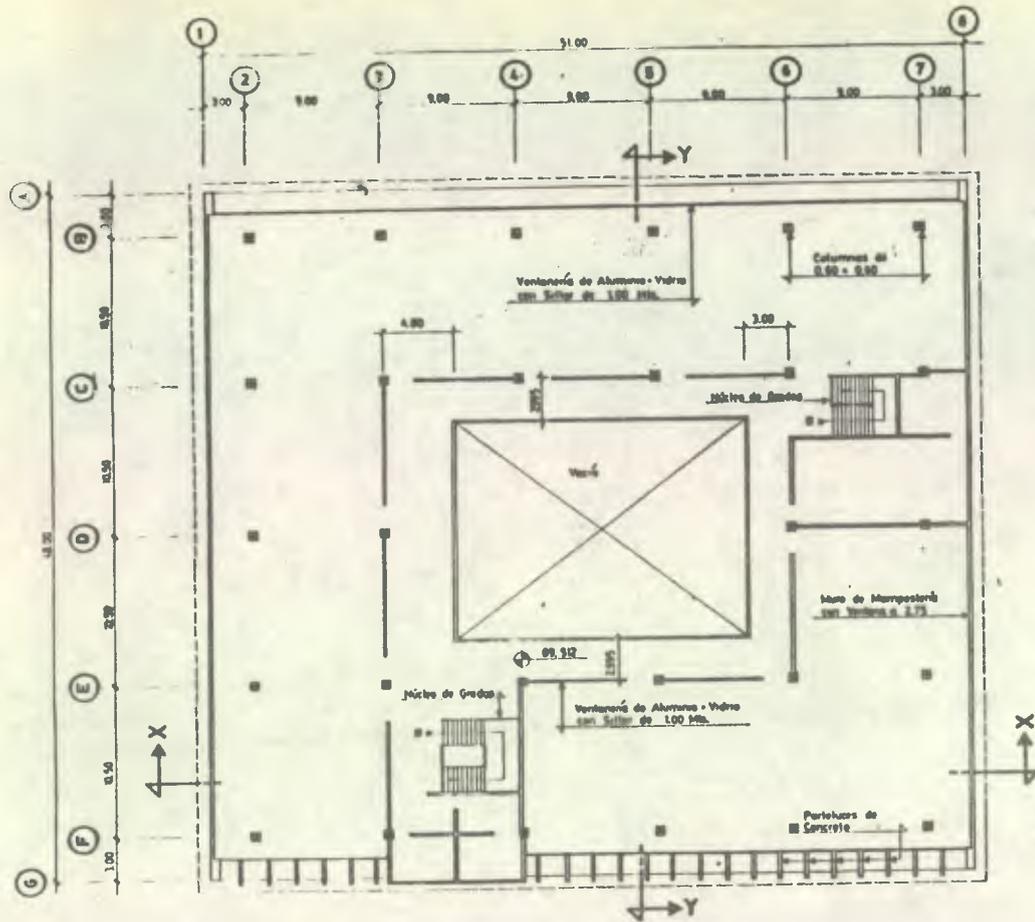
(31) Salvadori Mario y Heller Robert. Ob. cit. pag. 244.

por la flexibilidad que el espacio demanda. Dichos sistema conduce las cargas a las zapatas de concreto reforzado que constituyen la cimentación en cuyo nivel se dispone de soleras de amarre de concreto reforzado que estabilizan el sistema.

Los locales de sótano generan tres módulos estructurales sobre los ejes E a F y 2 a 5, que por la diferencia de rigidez en las columnas podría provocar esfuerzos flexionantes no deseables a la estructura. Los dos módulos de gradas por estar integrados a la estructura, también podrían generar esfuerzos adicionales por la excentricidad de sus cargas. Estos efectos aunque no deseables en condiciones ideales, son probablemente necesarios y justificables en términos de funcionamiento y apariencia formal del edificio.

SINTESIS:

La adecuación funcional/estructural del edificio aunque racionalmente resuelta, constituye una económica y efectiva solución. El aspecto formal del mismo expresa en cada uno de sus detalles la lógica estructural del sistema que lo sustenta. Es un conjunto del que puede decirse que sus requisitos de equilibrio fueron resueltos en forma económica, funcional y estética.

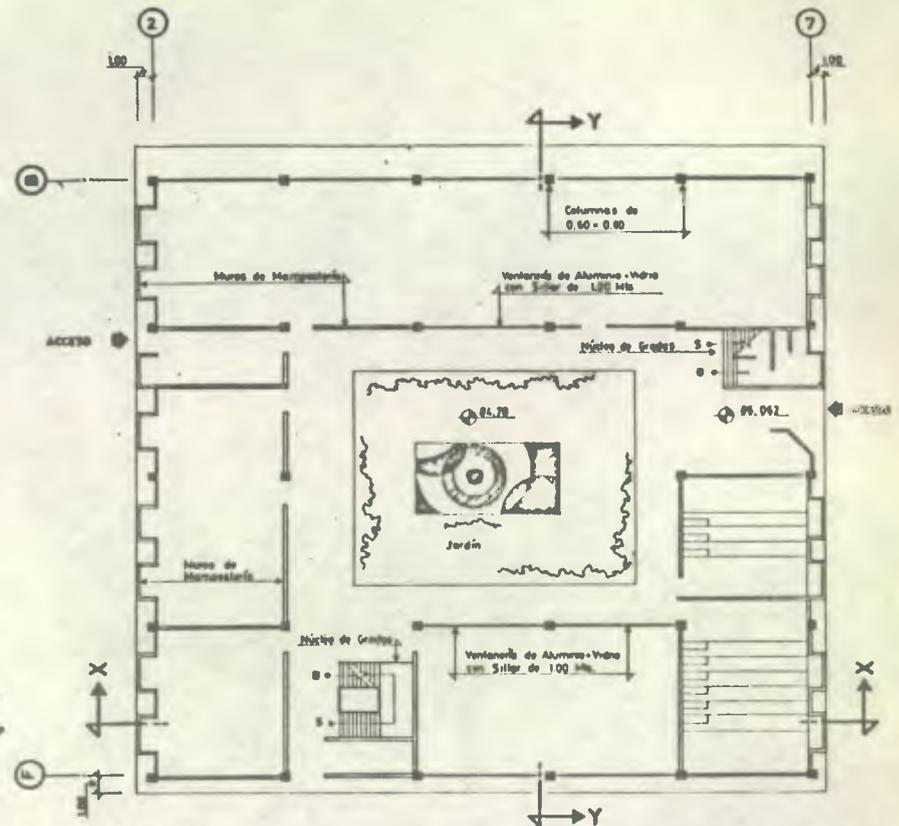


PLANTA ALTA

escala 1:200

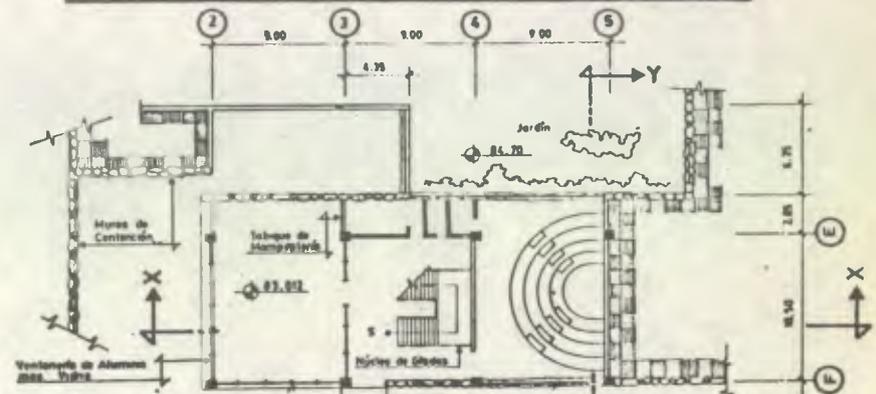
NOTA

- Planos de Elaboración Propia Basados en Planos de Consulta.
- Fuente de Información: Departamento de Diseño, Urbanización y Construcción de la UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



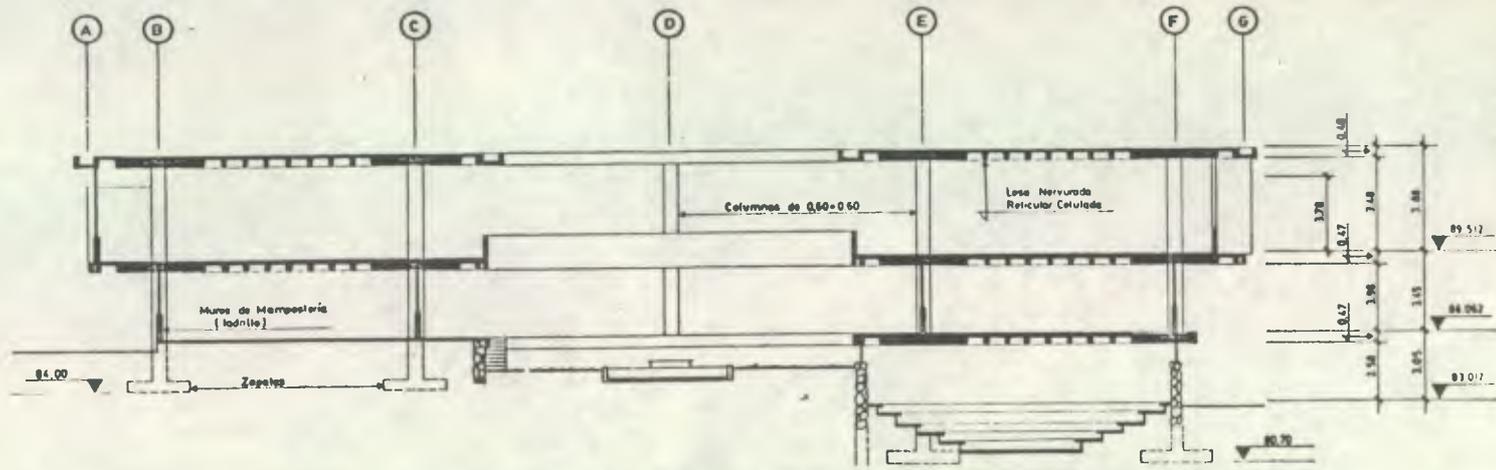
PLANTA BAJA

escala 1:200



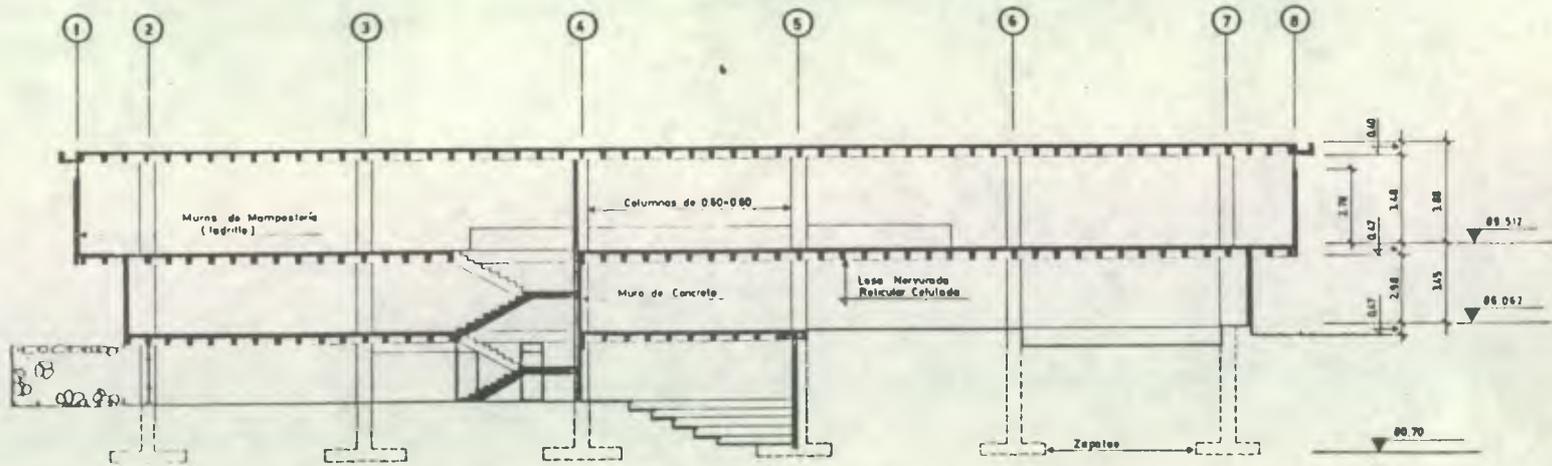
PLANTA SÓTANO

escala 1:200



SECCIÓN POR Y-Y

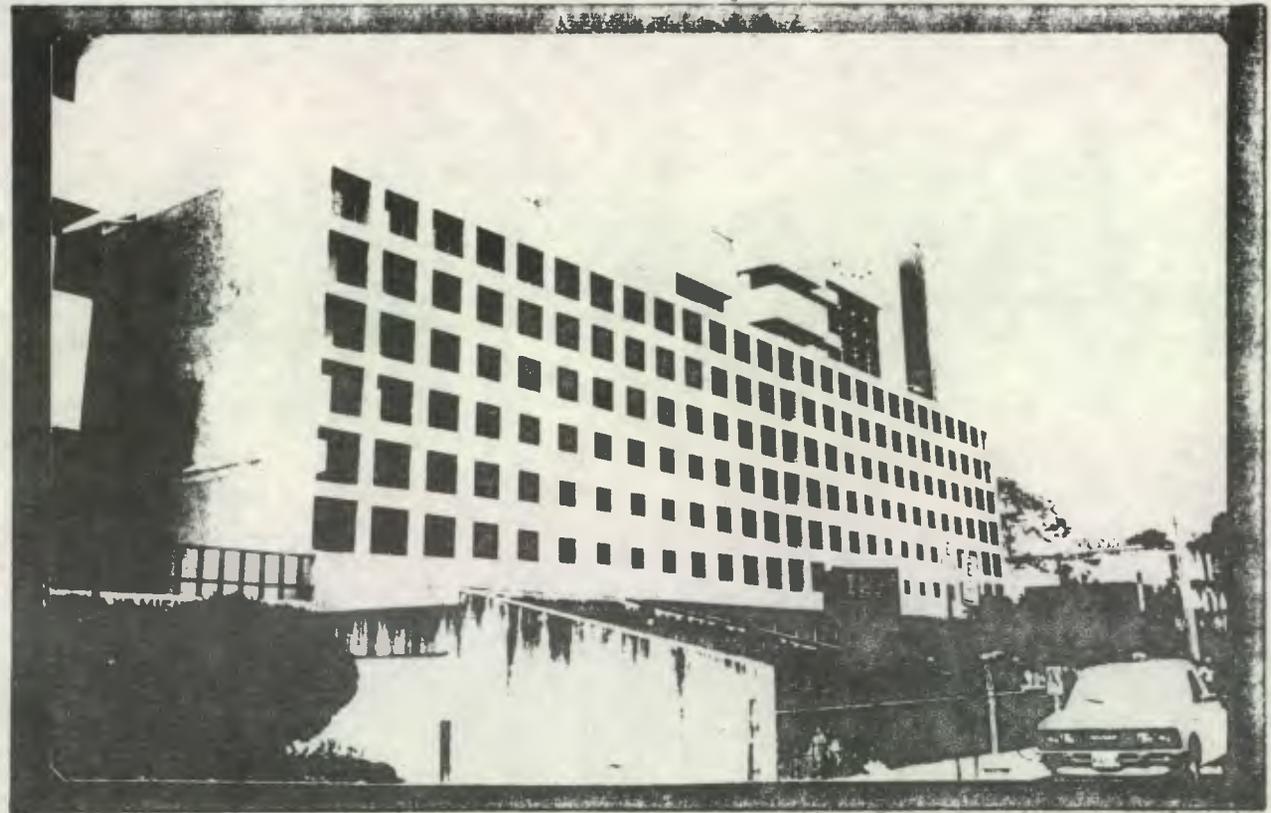
escala 1:125



SECCIÓN POR X-X

escala 1:125





EDIFICIO IBM

Proyecto: Arq. José Asturias Rudeke.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO:

- Proyecto: Edificio IBM de Guatemala.
- Dimensiones: Sentido longitudinal = 32.94 mts. Sentido transversal = 27.68 mts.
- Función: Administración + Ventas.
- Localización: Avenida "La Reforma" 12-51 zona 10. Guatemala.
- Sistema estructural: Estructura Masiva.
- Tipo Estructural: Combinación de losa Nervurada en un sentido + Marcos Múltiples de Sistema Vierendeel.
- Año de Planificación: 1,977.
- Observaciones: El proyecto contempla dos fases, la primera constituye la parte construida al momento y analizada en el presente estudio. La segunda fase representa tres niveles mas cuyo sistema estructural y constructivo es similar a la primera. El diseño de la primera fase contempla las cargas que la segunda implican.

ELEMENTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISOS:

- Elementos de Cerramiento: Losa nervurada en un sentido de concreto reforzado.
- Elemento estructural principal: Losa nervurada en un sentido de concreto reforzado formada así: Losa de distribución sobre placas o losetas prefabricadas apoyadas en nervios o trabes pretensados.
- Otros elementos estructurales: Vigas o trabes de apoyo, postensados.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS PORTANTE.

- Elementos estructurales principales:
 - Columnas de concreto reforzado de sección variable.
 - Marcos Múltiples de Sistema Vierendeel (en fachadas frontal y posterior).
- Otros Elementos Estructurales:
 - Muros de concreto reforzado de los cubos de gradas y servicios.

(continúa elementos portantes)

- Elementos Rigidizantes: El sistema es autorigidizante, pero participan en él las losas de entrepiso y cubierta.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Zapatas Aisladas de concreto reforzado de área y espesor variable.
- Elementos rigidizantes: Vigas de amarre o contratrabes de sección variable, de concreto reforzado.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Un tramo de losa nervurada en dos sentidos (para el primer piso) de concreto reforzado fundida en obra.
- Dos módulos de gradas.

EVALUACION DEL EDIFICIO IBM DE GUATEMALA.

Los entrepisos y cubierta de este edificio, así como los marcos múltiples tipo Vierendeel de las fachadas constituyen una estructura de carácter integral, dado que el proceso constructivo y el mecanismo resistente sólo son posibles y efectivos cuando todos los elementos actúan conjuntamente (32). Esa es la característica más importante y significativa de la estructura. La geometría regular de las plantas engendra espacios totalmente libres de apoyos con luces que varían desde los 10 m. hasta 15.86 m. para espesores de losa de 0.50 m.; lo que da relaciones espesor a luz entre 1:12 a 1.:32. Esta última sólo es posible (económicamente) gracias al sistema pretensado y post-tensado de nervios y vigas principales respectivamente. El espacio interior es obstruido tan sólo por los cubos de gradas y servicios.

La eficiencia estructural del sistema redunda en algún grado de complejidad constructiva, pero también en rapidez. La mencionada complejidad no significa irracionalidad sino simplemente

(32) Arq. José Asturias Rudeke en entrevista personal.

alude a la diversidad de elementos y detalles que componen el sistema.

La acción portante es realizada específicamente por columnas aisladas y por el sistema de marcos múltiples tipo Vierendeel, pero en esta acción también participan los muros de concreto reforzado de los cubos de gradas y servicios, ya que su fundición monolítica con las vigas principales postensadas los hace trabajar como un solo elemento en la absorción y conducción de cargas.

Todas las columnas de sección rectangular están orientadas longitudinalmente en el sentido este-Oeste, hecho que favorece la absorción de las cargas horizontales en ese sentido (ver graf. aux.2); excepción hecha de la columna tipo 3, cuya sección en "L" se desarrolla hasta el nivel 1.12. Dichas columnas constituyen el apoyo de los marcos múltiples tipo Vierendeel y a partir del nivel mencionado forman parte de ellos reduciendo su sección conforme va subiendo (ver graf.aux.3). Para el resto de columnas la sección cambia en el nivel 1.12, a partir del cual se mantiene constante.

Los dos marcos múltiples tipo Vierendeel (ver graf. aux. 3) cumplen además de su función portante la de rigidizante, en virtud de su capacidad de absorber cargas laterales en su propio plano gracias a los elementos verticales de amarre dispuestos, que además absorben esfuerzos cortantes horizontales que se producen debido a la flexión del elemento.

La concentración de masa que se da sobre los ejes "H" y "S" tanto para elementos horizontales como verticales es consecuencia lógica de los requerimientos a flexión y fundamentalmente a corte, que para el caso parecen ser críticos por ser los extremos del tramo con mayor luz entre apoyos (ver graf. aux. 4).

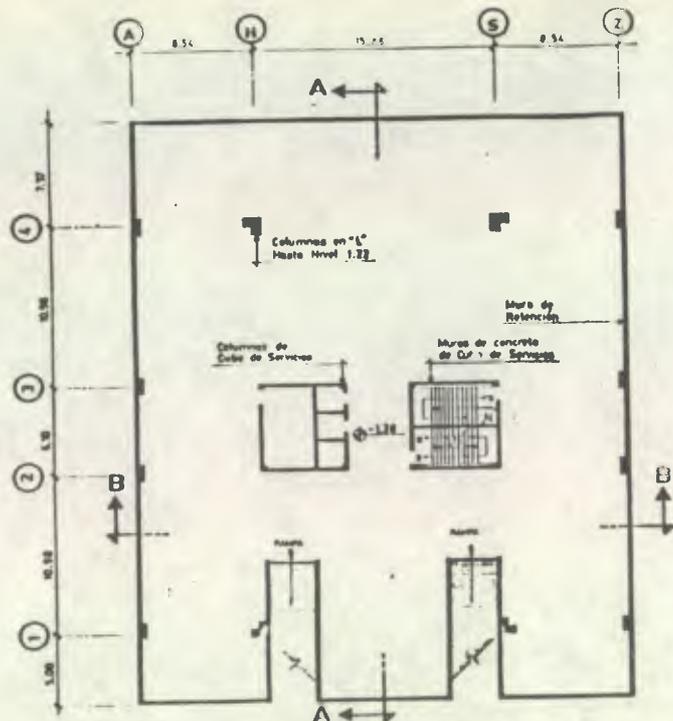
Para el diagrama de momento sería necesario un análisis cuantitativo para determinar si el momento negativo sobre los ejes "H" y "S" no domina, a tal grado que evite momento positivo en los tramos extremos. Sin embargo, lo que si es evidente es que sobre los ejes mencionados se dan los esfuerzos mas grandes.

Como ya se mencionó, en la acción portante participan los cubos de gradas y servicios que también constituyen elementos rigidizantes por su geometría y disposición.

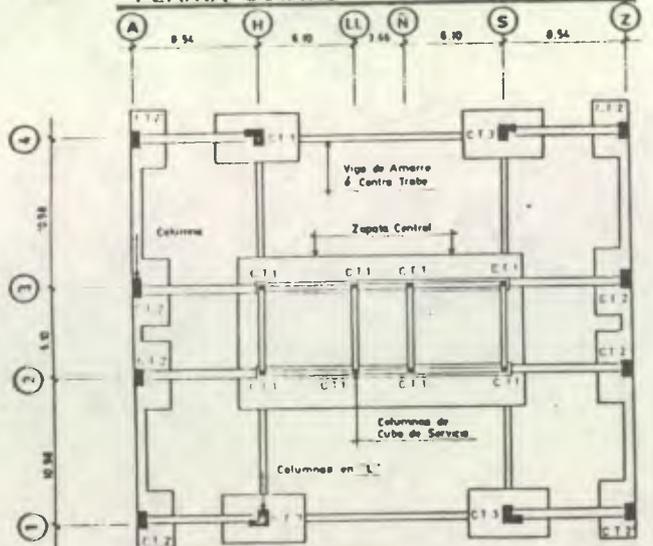
Las cargas son conducidas al suelo a través de un sistema de zapatas aisladas de área y sección variable en función de su carga tributaria (ver graf. aux. 1). La zapata central evidencia y enfatiza la función portante de las columnas y muros de los cubos de gradas y servicios. El sistema de cimentación es amarrado y estabilizado a través de vigas de amarre o contratrabes de sección variable.

SINTESIS.

En términos estructurales, el edificio en cuestión posee una expresión formal sumamente estética. Independientemente del contenido metafórico que la fachada tiene, sus líneas y volúmenes son una clara consecuencia no sólo de los requerimientos estructurales para garantizar el equilibrio y estática del conjunto sino de los materiales utilizados para ello. La complejidad constructiva y la eficiencia estructural son indudablemente las variables cuyo equilibrio es un elemento difícil de evaluar.



PLANTA SÓTANO escala 1:200



ESQUEMA CIMENTACIÓN escala 1:200
GRÁFICA AUXILIAR 1



DIAGRAMA DE CORTE

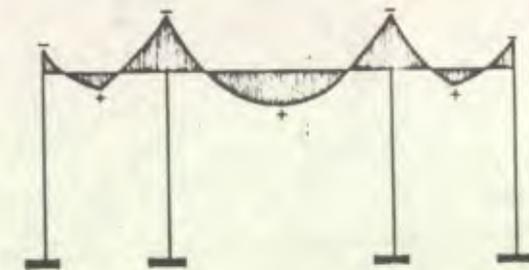


DIAGRAMA DE MOMENTOS POSIBILIDAD "A"

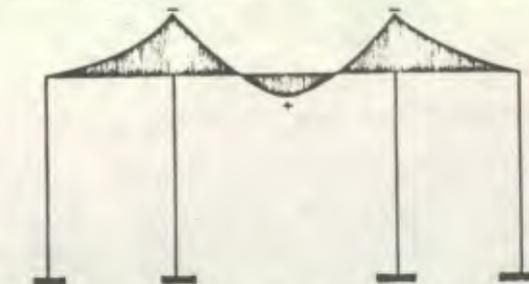
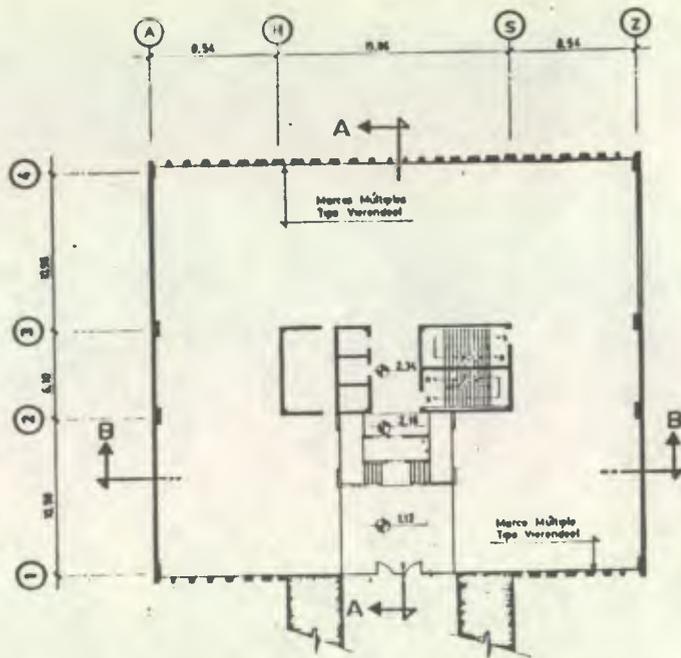


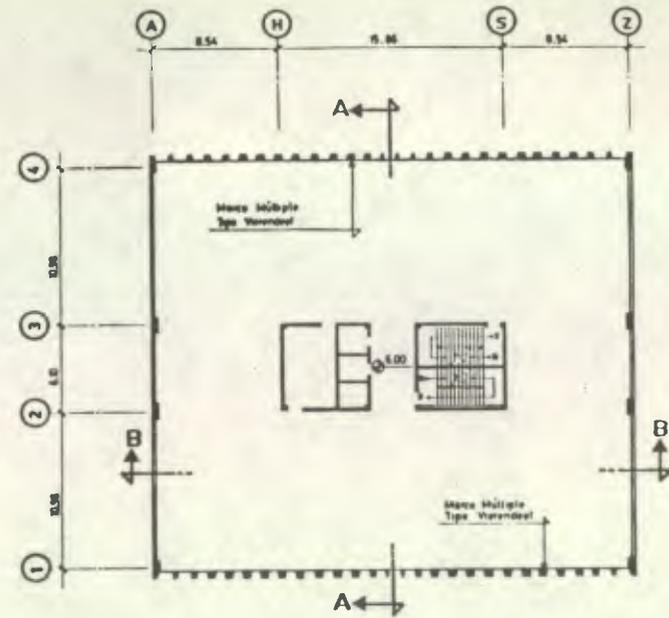
DIAGRAMA DE MOMENTOS POSIBILIDAD B

GRÁFICA AUXILIAR 4' sin escala

Diagramas de Esfuerzos (Internos) de los Muros Verederos Actuando Conjuntamente como una Viga de Tres Tramos para Cargas Verticales



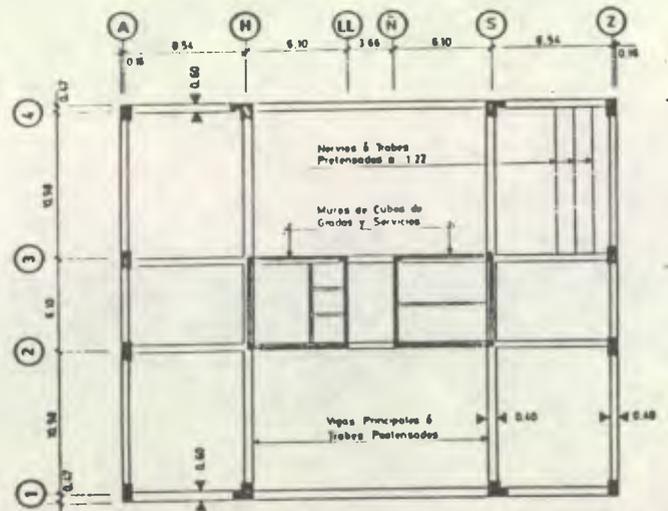
PLANTA BAJA escala 1:200



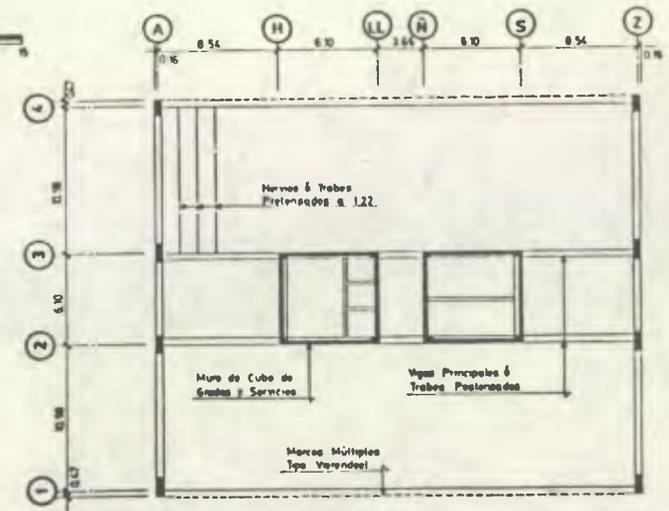
PLANTA ALTA escala 1:200



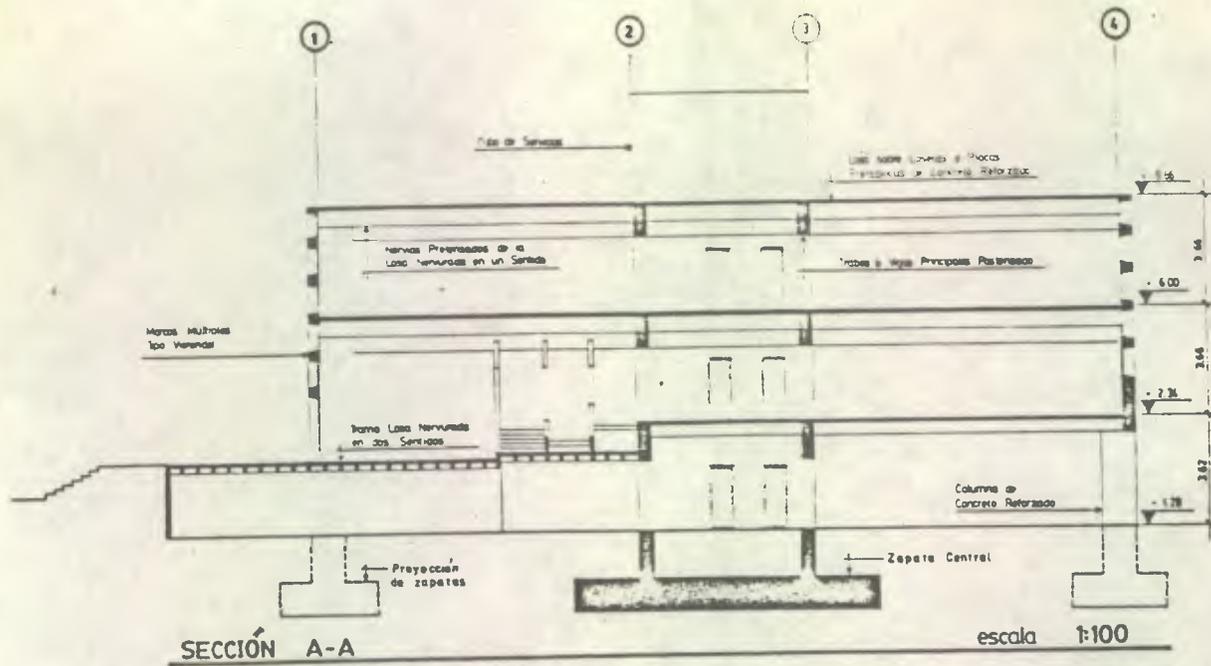
NOTAS:
 - Planos de Elaboración Propia Basados en Planos de Taller Consultados.
 - Fuente Información: Archivo Oficina del Arquitecto JOSÉ ASTURBAS RUDEKE.



ENTREPISO PLANTA BAJA escala 1:200
GRÁFICA AUXILIAR 2

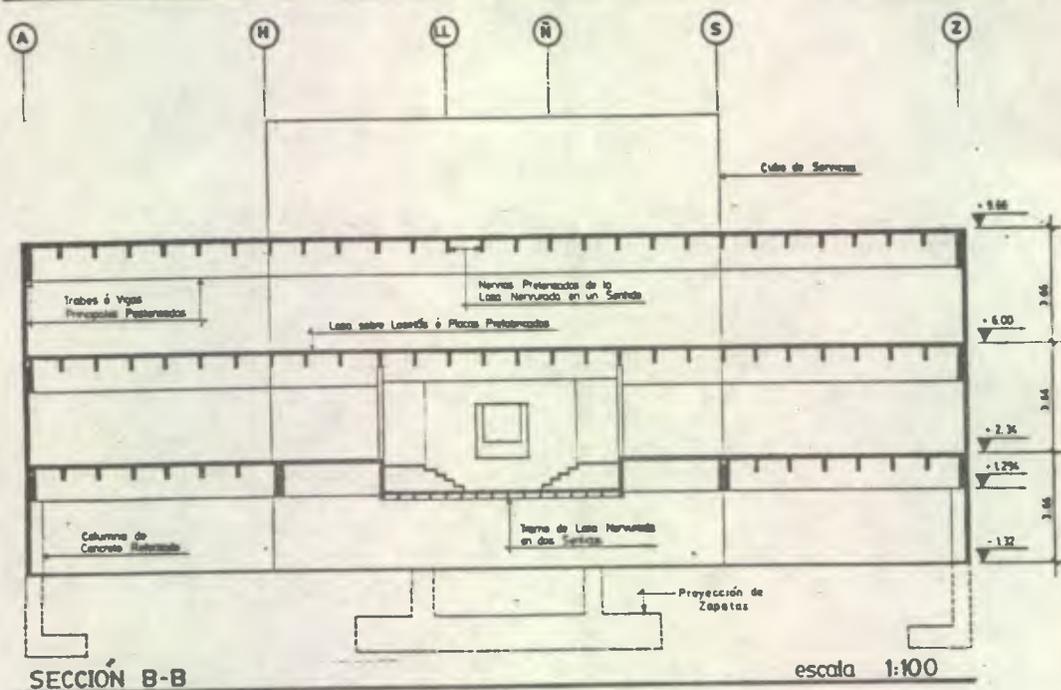


ENTREPISOS TIPO escala 1:200
GRÁFICA AUXILIAR 2



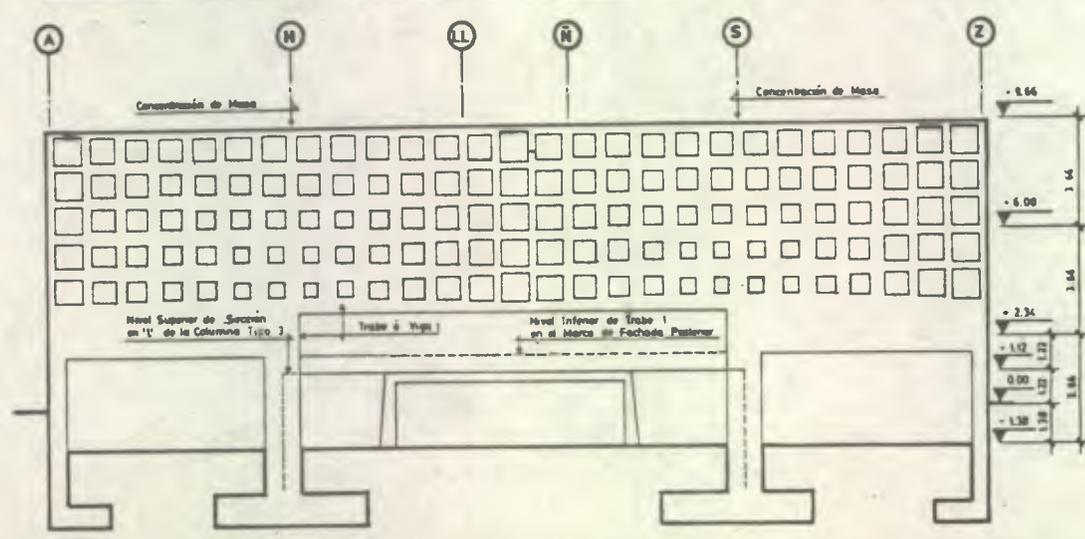
SECCIÓN A-A

escala 1:100



SECCIÓN B-B

escala 1:100



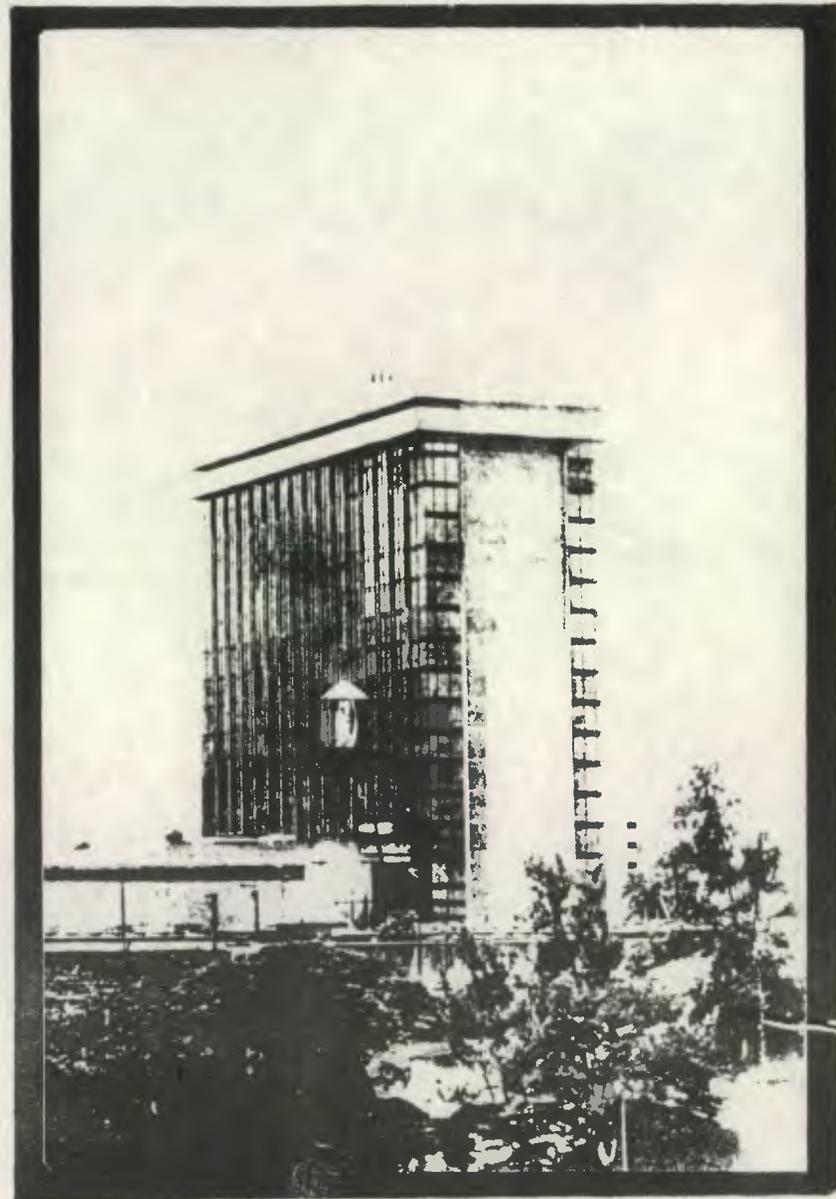
GRÁFICA AUXILIAR 3

escala 1:100



Proyecto: Arq. René Minera.
Adaptación: D.G.O.P.

**EDIFICIO DEL MINISTERIO DE
FINANZAS PUBLICAS**



GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto: Edificio del Ministerio de Finanzas. Cuerpo I (Torre).
- Dimensiones: Sentido Longitudinal = 8 módulos de 8.50 m. = 68.0 mts. + voladizos.
Sentido Transversal = 2 módulos de 7.00 m. + 1 módulo de 8.0 m. = 22.0 m + voladizos.
- Función: Administración + servicios.
- Localización: Centro Cívico, Guatemala.
- Sistema estructural: Estructura Vertical.
- Tipo estructural: Sistema reticulado.
- Año de planificación: 1,972.
- Observaciones: El proyecto original sufrió algunas modificaciones de tipo formal que redundaron en algunas alteraciones de detalles estructurales, aunque no la esencia vertical del edificio.

ELEMENTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISOS.

- Elementos de cerramiento: Losa nervurada en un sentido Compuesta (Nervio de acero sección WF ó ala ancha + losa de concreto reforzado).
- Elemento estructural principal: Losa Nervurada en un sentido tipo compuesta (Nervio de acero sección WF ó ala ancha + losa de concreto reforzado).
- Otros elementos estructurales: Vigas principales de acero tipo 24 WF (ala ancha).
- Elementos rigidizantes:
Conectores de acero, soldados a las vigas principales y los nervios + Nervio de rigidez de perfil tipo WF ó ala ancha entre ejes de vigas principales y perpendicular a los nervios de la losa nervurada.

ELEMENTOS PORTANTES.

- Elemento estructural principal: Columnas de acero tipo 14 WF (constante para todos los niveles).

(continúa Elementos Portantes).

- Elementos rigidizantes:

Sistema de embreizado con angulares de acero en tramos específicos +
Losas nervuradas de cubierta y entresijos.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Retícula de Ancha base tipo doble "T" invertida, de concreto reforzado.
- Otros elementos estructurales: Planchas/base de acero sobre los pedestales de apoyo para las columnas (elementos de transición entre los elementos portantes y la cimentación).
- Elementos rigidizantes: Nervio rigidizante entre las dos almas de la doble "T" invertida, de concreto reforzado y ubicado a 1/2 de la luz.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Dos módulos de gradas en el núcleo de servicios.

EVALUACION DEL EDIFICIO DEL MINISTERIO DE FINANZAS.

Una de las características más significativas de este edificio es la homogeneidad del volumen, que evita efectos torsionantes y deslizamientos por sectores debido a esfuerzos cortantes, y aún cuando la protuberancia como remate superior es contradictoria con la forma ideal que por ser similar a una viga en voladizo sugiere dicho ensanchamiento en la base; para este caso su proporción resulta formalmente justificable y estructuralmente no tan significativa.

La volumetría del edificio es de lo más regular que puede requerirse para obtener un comportamiento monolítico en la acción resistente, cuyo objetivo (como en toda estructura vertical) es la resolución de dos problemas básicos: la conducción adecuada de las cargas al suelo y el amortiguamiento de las cargas horizontales. El mecanismo resistente descansa en la acción combinada

de su sistema reticulado de apoyos y las losas nervuradas de tipo compuesto para la cubierta y entresijos.

Estas losas (véase los detalles) están solicitadas bajo cargas verticales básicamente a esfuerzos flexionantes y bajo cargas horizontales actúan como diafragmas para absorber y repartir las mismas hasta el sistema portante de columnas. Dada su conformación las losas no son estrictamente monolíticas y están propensas a deslizamientos, por lo que la inclusión de conectores absorbiendo esfuerzos cortantes no sólo es necesaria sino indispensable. Sin embargo, su carácter compuesto es justificable en términos estructurales precisamente, si se considera la escasa carga muerta que representa para un edificio cuya carga viva es considerable, caso en el cual el sistema es efectivo.

El sistema portante constituido por las columnas metálicas cuya sección constante (14 WF) aunque no ideal, porque la acción de viga en voladizo ya mencionada sugiere reducción de masa hacia la parte más alta; es eficiente en términos de facilidad constructiva al descartar complicados detalles de unión entre diferentes secciones. Sin embargo, la diferencia de pesos para columnas de diferentes niveles es el recurso utilizado para la absorción de la carga que aumenta hacia la base.

El sistema de unión con soldadura utilizado es el más recomendado para lograr el efecto de "continuidad estática característica de las obras de hormigón armado" (33), requerido para contrarrestar deformaciones. Pese a ello, puede decirse que la estructura es muy flexible no sólo porque de hecho las uniones no constituyen continuidad natural, sino porque el sistema reticulado de apoyos lo induce.

Es por eso que a la acción portante de las columnas se suma la rigidizante del sistema de breizas ubicado en los muros laterales y en los del cubo de servicios. En esa forma, los marcos embreizados actúan como muros de corte absorbiendo cargas laterales y reduciendo con ello los des-

(33) Petrucci Achille. Ob. cit. pag. 129. Penúltimo párrafo.

plazamientos. El embreizado en "V" de los marcos sobre los ejes 6 y 8 aunque menos efectivo que el sistema en "X", es necesario por razones de funcionalidad, ya que en los extremos inferiores se ubican las puertas de acceso a las gradas de servicio.

La orientación del perfil WF de las columnas, que en los eje "G" y "J" es Este-Oeste y en los ejes "H" e "I" es Norte-Sur, contempla la posibilidad de absorber cargas laterales en ambos sentidos.

Las cargas son conducidas a un sistema de cimentación que en principio había sido considerado como una losa de cimentación, pero que finalmente fue concebido como una doble "T" invertida corrida en las dos direcciones formando un reticulado (ver graf. aux. 1); de ancho y espesor variable en función de la carga tributaria y previendo asentamientos diferenciales que flexionaran a la estructura. El criterio de la doble "T" invertida para la cimentación obedece básicamente al objetivo de amarrar a rostros a los pedestales de las columnas (34) que por requerimientos de cálculo tenían una longitud de lado mayor a la requerida para el ancho del nervio de una sección "T" invertida (ver graf. aux. 1).

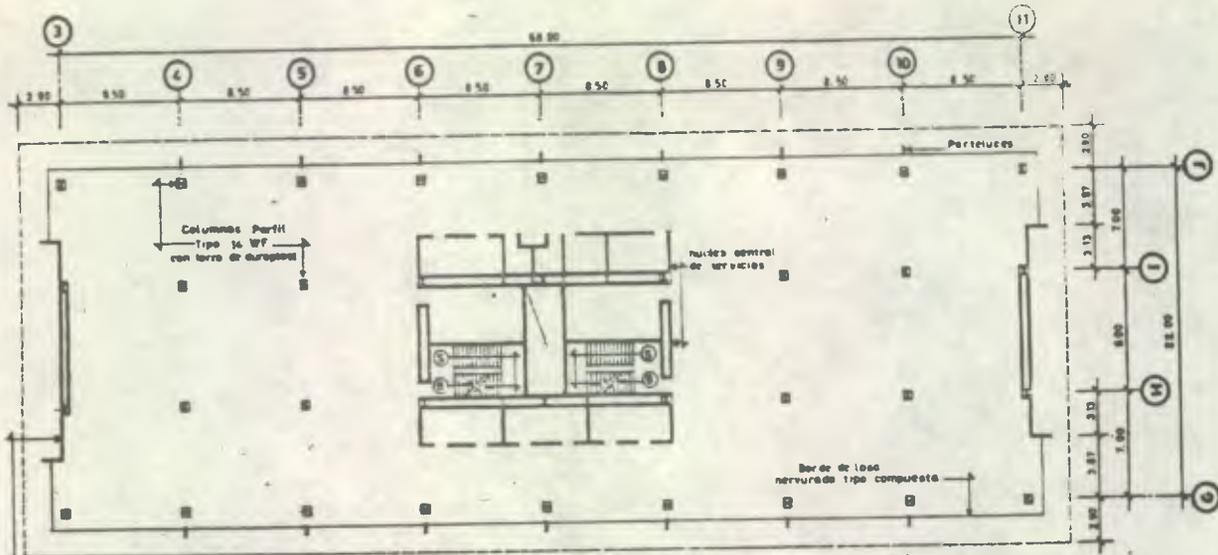
Los nervios de la doble "T", dada la considerable luz entre pedestales, requirieron de un diafragma rigidizante a manera de nervio (35) (ver graf. aux. 1).

SINTESIS.

La flexibilidad estructural que el sistema reticulado de columnas conlleva, es resultado lógica de la flexibilidad funcional que el edificio demanda, prueba de ello es el sistema de cerramiento vertical interno; que por su escaso peso y facilidad de montaje es sumamente versátil. La expresión formal es indudablemente un reflejo de la adecuación estructural/funcional racionalmente resuelta con los materiales y sistema constructivo utilizado.

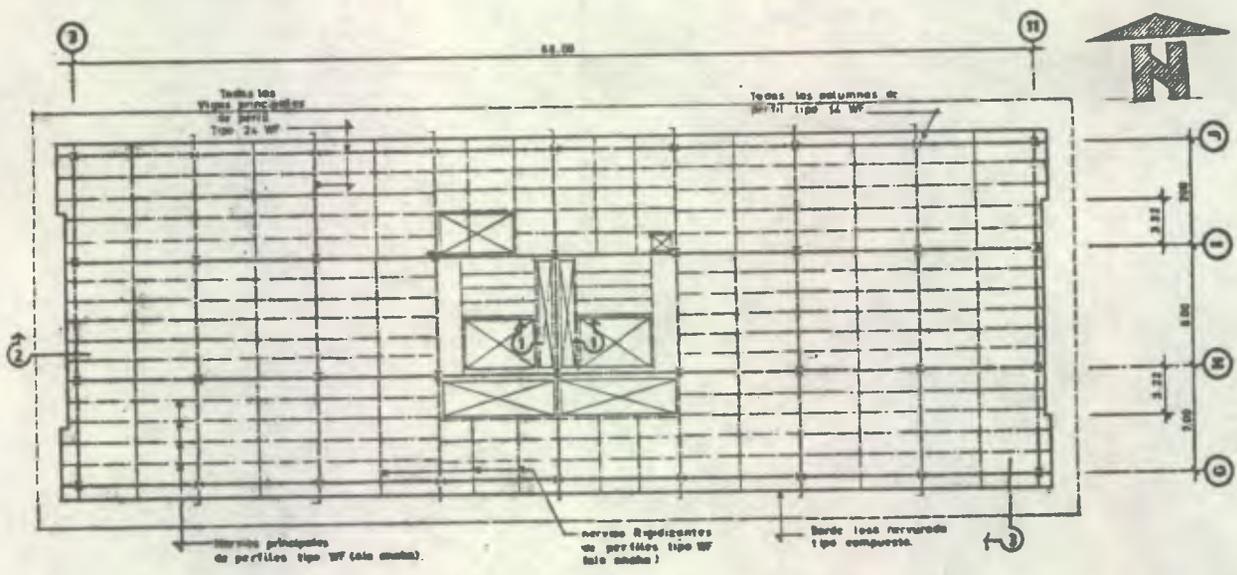
(34) Ing. Vicente Mazariegos en entrevista personal.

(35) IDEM.



Muros laterales y del núcleo central de servicios, con torro de electroalmilla fundido de concreto o capóridos de europlax (aplicados plásticos)

PLANTA CON MODULACIÓN TÍPICA ESCALA 1:200

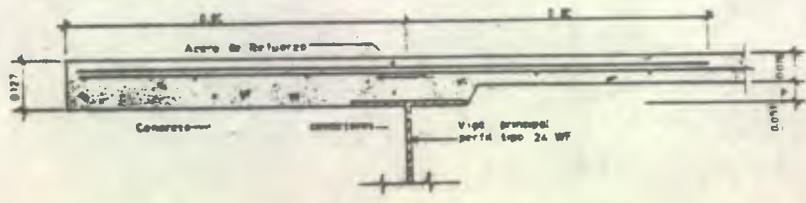
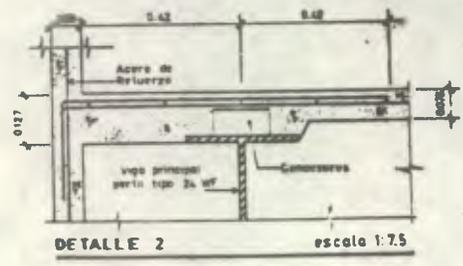
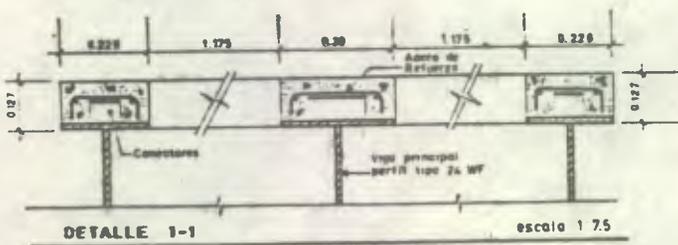


ESTRUCTURA DE ENTREPISOS ESCALA 1:200

NOTA:

- Planos de elaboración propia basados en planos de taller actualizados.
- Fuente de información: Archivo del Depto. de mantenimiento del edificio del ministerio de Vivienda.

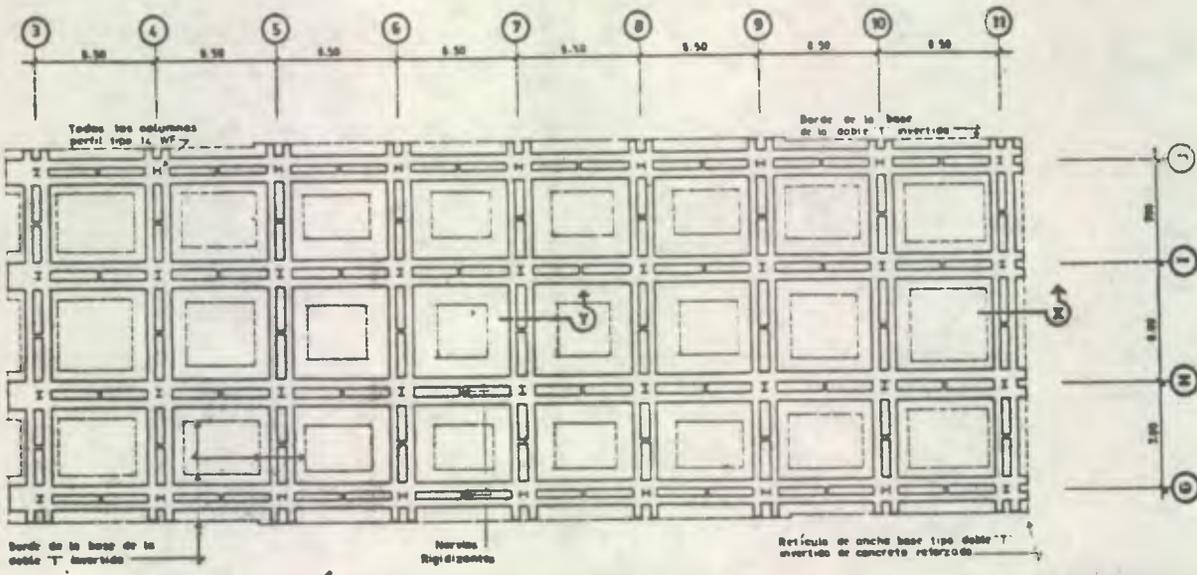
ESCALA GRÁFICA (metros)



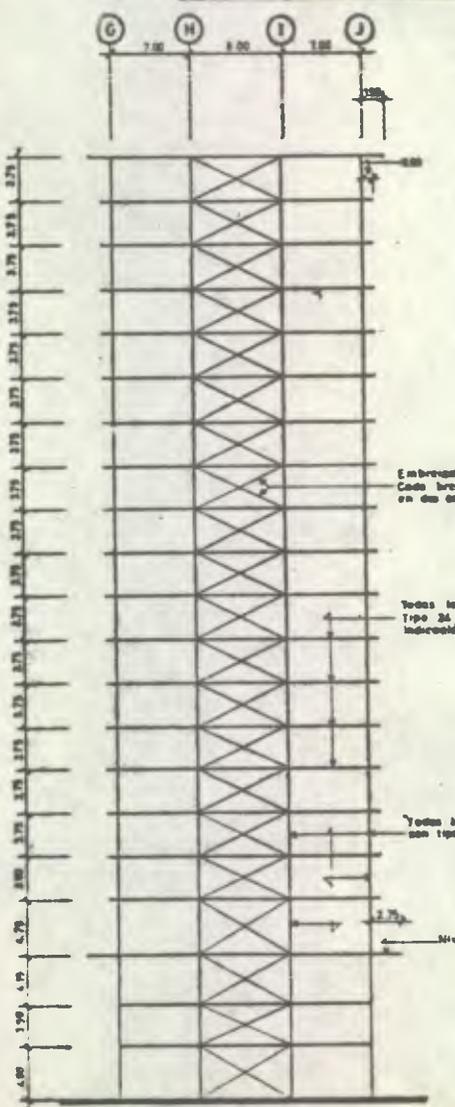
DETALLES

ESCALA GRÁFICA (metros)

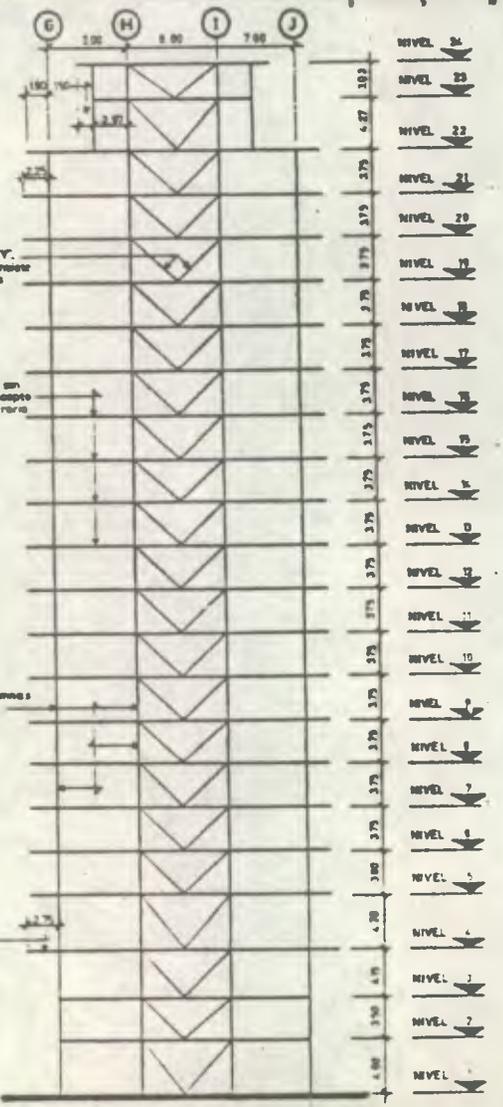
DETALLE 3 escala 1:75



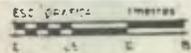
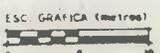
GRÁFICA AUXILIAR 1 (ESQUEMA DE CIMENTACIÓN) ESC 1:200

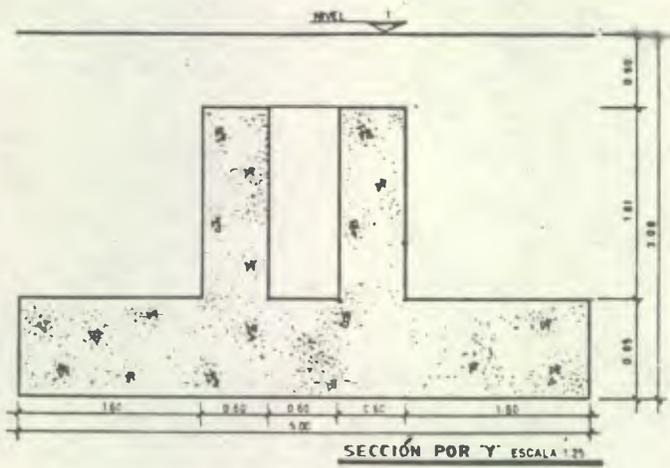


MARCO EN EJES 3 Y 4 ESC 1:250

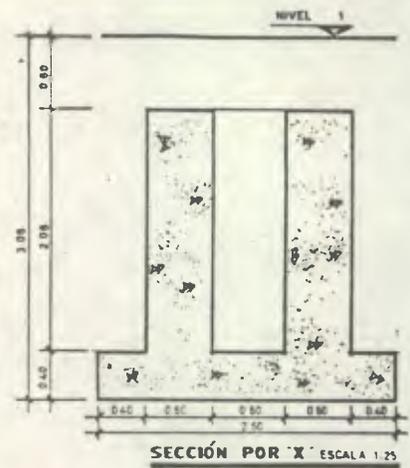


MARCO EN EJES 6 Y 8 ESC 1:250

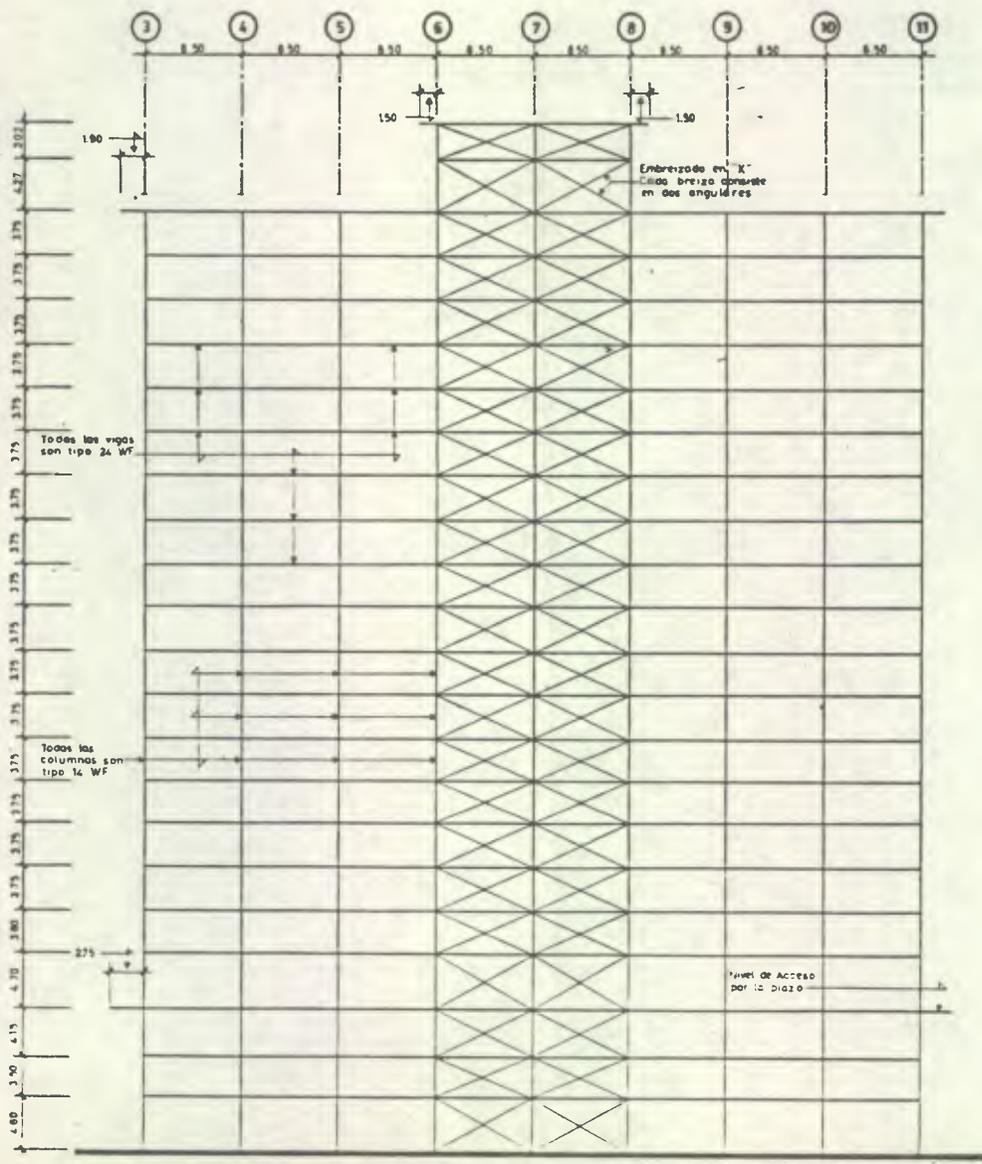




SECCIÓN POR Y ESCALA 1:25



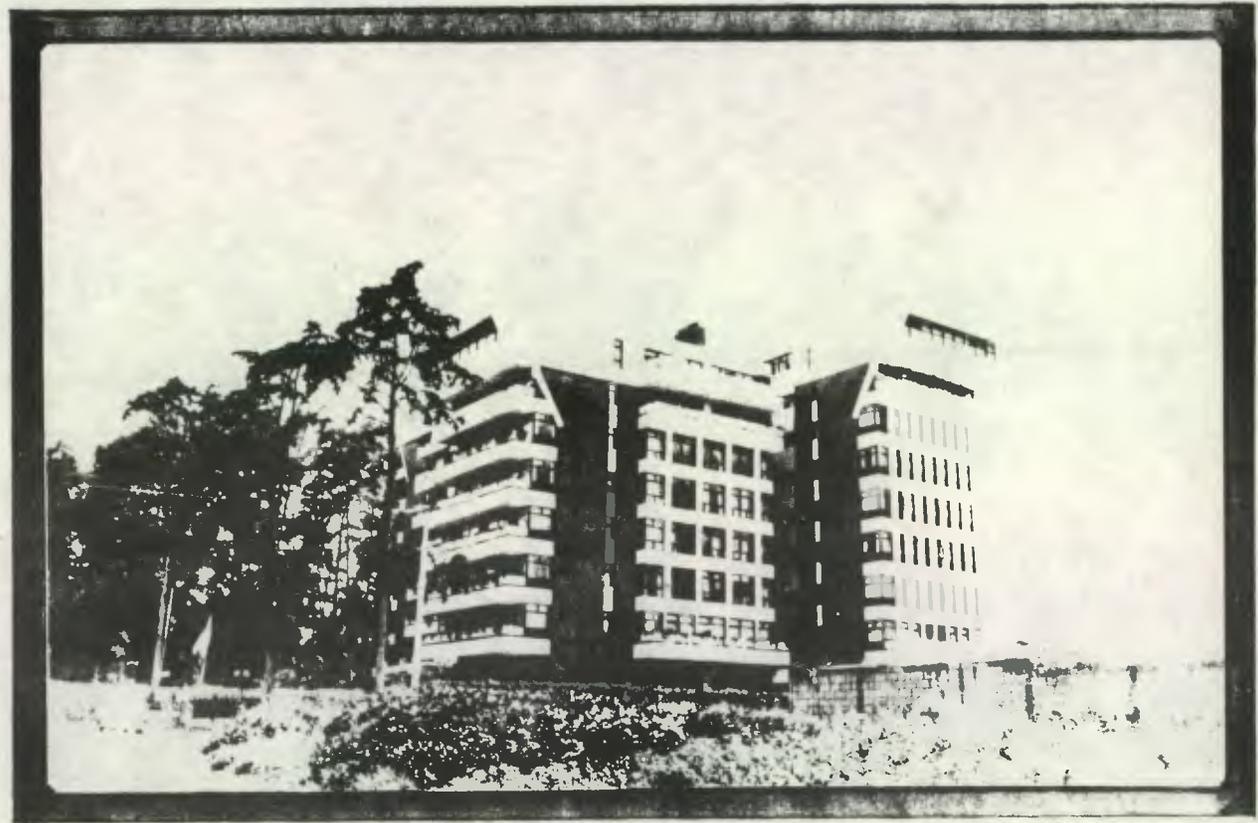
SECCIÓN POR X ESCALA 1:25



- NIVEL 24
- NIVEL 23
- NIVEL 22
- NIVEL 21
- NIVEL 20
- NIVEL 19
- NIVEL 18
- NIVEL 17
- NIVEL 16
- NIVEL 15
- NIVEL 14
- NIVEL 13
- NIVEL 12
- NIVEL 11
- NIVEL 10
- NIVEL 9
- NIVEL 8
- NIVEL 7
- NIVEL 6
- NIVEL 5
- NIVEL 4
- NIVEL 3
- NIVEL 2
- NIVEL 1
- NIVEL

MARCO EN EJES H e T ESCALA 1:25





EDIFICIO COGEFAR

Proyecto: Arq. Pelayo Llarena D.
Arq. Pelayo Llarena M.

GENERALIDADES DEL EDIFICIO.

- Proyecto; Edificio COGEFAR de Guatemala.
- Dimensiones: El edificio consta de cuatro bloques unidos por el núcleo de servicios. Cada bloque es de 12.50 m. x 19.0 mts.
- Función: Administración (oficinas) + Vivienda (apartamentos).
- Localización: 5 avenida y 9 calle zona 14. Guatemala.
- Sistema estructural. Estructura Vertical.
- Tipo estructural: Combinación de Sistema Reticulado + Sistema de Muros de Corte.
- Año de planificación: 1,984.
- Observaciones: Léase en la descripción del sistema de entrepisos, el uso de dos tipos.

ELEMENTOS DE CUBIERTA.

- Elementos de cerramiento: Shingles de madera sobre duelas de machihembrado.
- Elemento estructural principal: Artesonado de cuatro aguas con vigas principales de Limatesa, de madera.
- Otros elementos estructurales: Vigas/canal perimetrales de concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante pero participan en él las duelas de machihembre.

ELEMENTOS DE ENTREPISOS.

- Elementos estructurales principales:
Losas bordeportantes de concreto reforzado.
Losa nervurada de concreto reforzado (sólo en el primer piso)
- Elementos rigidizantes: El sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS PORTANTES

- Elementos estructurales principales:
 - Columnas cuadradas de concreto reforzado de sección variable hacia arriba.
 - Muros de Corte de Concreto reforzado.
- Elementos rigidizantes:
 - Losas bordeportantes y nervurada de entrepisos
 - Muro de corte de concreto reforzado.

ELEMENTOS DE CIMENTACION.

- Elemento estructural principal: Losa de cimentación de concreto reforzado de 1.20 mts. de espesor.
- Elementos rigidizantes: el sistema es autorigidizante.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES AUXILIARES.

- Cubos de servicios, de concreto reforzado.
- Módulos de gradas principales, de concreto reforzado.
- Muros de retención y contrafuertes de concreto reforzado en el sótano.

EVALUACION DEL EDIFICIO COGEFAR.

El edificio consta de cuatro cuerpos unidos por un núcleo central en forma de cruz a cuyos lados este y oeste se ubican los cubos de gradas y ascensores respectivamente, al Norte y el Sur jardineras para todos los niveles excepto para el sótano y el primer piso por razones de funcionalidad. El mencionada núcleo amarra a los cuatro cuerpos a través de vigas con mayor rigidez en virtud de ser (teóricamente) el punto mas solicitado a esfuerzos dado su función de nexo entre volúmenes mayores (véase graf, aux. 1). El incremento de rigidez se logra a través del aumento de sección que redundo en un mayor momento de inercia de cuyo valor la rigidez es dependiente.

Aunque no deseable idealmente, la volumetría irregular del conjunto es justificable en términos de funcionalidad (optimización de espacios de circulación, ventilación e iluminación natural, privacidad) y también de formalismo expresivo.

Sin embargo, cada cuerpo es volumétricamente regular en sí mismo y aunque la protuberancia del remate superior no es congruente con la forma ideal de una estructura vertical, que sugiere disminución de masa hacia la parte superior; si es para este caso proporcionada. La inclinación del mencionado remate favorece la conducción de su carga hacia los muros por cuya rigidez y capacidad resistente es posible dicho recurso formal.

En la cubierta utilizada, el sistema y materiales estructurales son justificables por razones de riqueza expresiva básicamente y no representa ninguna alteración al conjunto en virtud de que son autorigidizantes al igual que su sistema de apoyo sobre muros de carga (prolongación de los muros cortantes de concreto reforzado).

El sistema de entrepisos está formado por losas bordeportantes cuya acción diafragmática ante cargas horizontales es incrementada por la doble losa (tipo cajón) que los constituye y que básicamente obedece a razones constructivas y funcionales para la disposición de los sistemas de instalaciones. La losa inferior de 15 cms. es la estructuralmente más resistente, y a ella se suma en la acción rigidizante la losa superior de 5 cms. que constituye la base de piso.

La losa nervurada amarra en su plano a los cuatro cuerpos y dada su enorme rigidez, constituye un diafragma del conjunto ante la acción de cargas laterales.

La acción portante recae en un sistema combinado de retícula aporricada + muros de corte. Dada la gran rigidez de las losas en su plano, obligan a que en cada piso los desplazamientos de pórticos (formados por columnas y vigas) y muros sean iguales, lo que da como resultado un régimen de deformación intermedio entre el de fuerza cortante y flexión.

Sucede que cuando un edificio va tomando altura, los pórticos solos como elementos resistentes de fuerzas horizontales resultan anti-económicos (dependiendo del material y sistema constructivo)

sobre todo si la volumetría del conjunto es irregular, por eso, en este caso es acertada la disposición de muros cortantes que a su función portante suman la estabilizadora. Sin embargo estos muros generalmente (y este es el caso) por razones funcionales se perforan para permitir la colocación de puertas y/o ventanas, lo que da lugar a los llamados "Muros Acoplados" (36). La eficiencia disminuida de los muros perforados es restablecida en parte a través de las llamadas "Vigas de acoplamiento", cuya función es la de restablecer la acción conjunta de los sectores de muro divididos por las perforaciones y que de no ser así trabajarían aisladamente con la consiguiente disminución de rigidez, debido a que su momento de inercia a disminuido notablemente.

Las columnas optimizan su sección al reducir área de concreto y acero conforme se alejan de la base.

Aparentemente el problema básico del edificio era la estabilización dado que su volumen podría provocar la acción aislada de cada sector. Esta posibilidad ha sido prevista y resuelta a través de la losa de cimentación que rigidiza al conjunto y evita esfuerzos adicionales producidos por posibles asentamientos desiguales de los cuatro cuerpos del mismo. Estas losas "ofrecen la ventaja de resistir las sollicitaciones a flexión y cortantes y de poder sufrir deformaciones sin consecuencias peligrosas para la estructura" (37).

En el sótano la acción resistente de los muros de retención es rigidizada a través de los contrafuertes, dado que por su longitud podría sufrir grandes deformaciones.

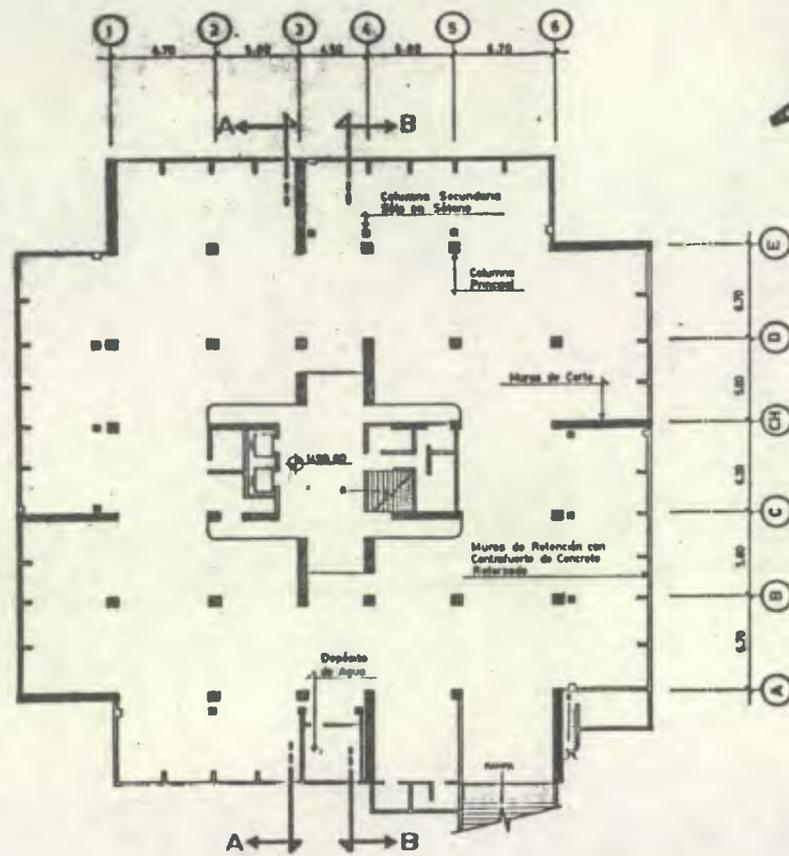
SINTESIS:

El contenido masivo del sistema estructural es claramente expresado a través del volumen y materiales utilizados (concreto + ladrillo visto). Las líneas y volúmenes de su expresión son resultado lógico de su mecanismo resistente. Sin embargo, el trabajo a flexión y predominantemente a corte de los muros sería mejor expresado por el concreto que por la mampostería de ladrillo que

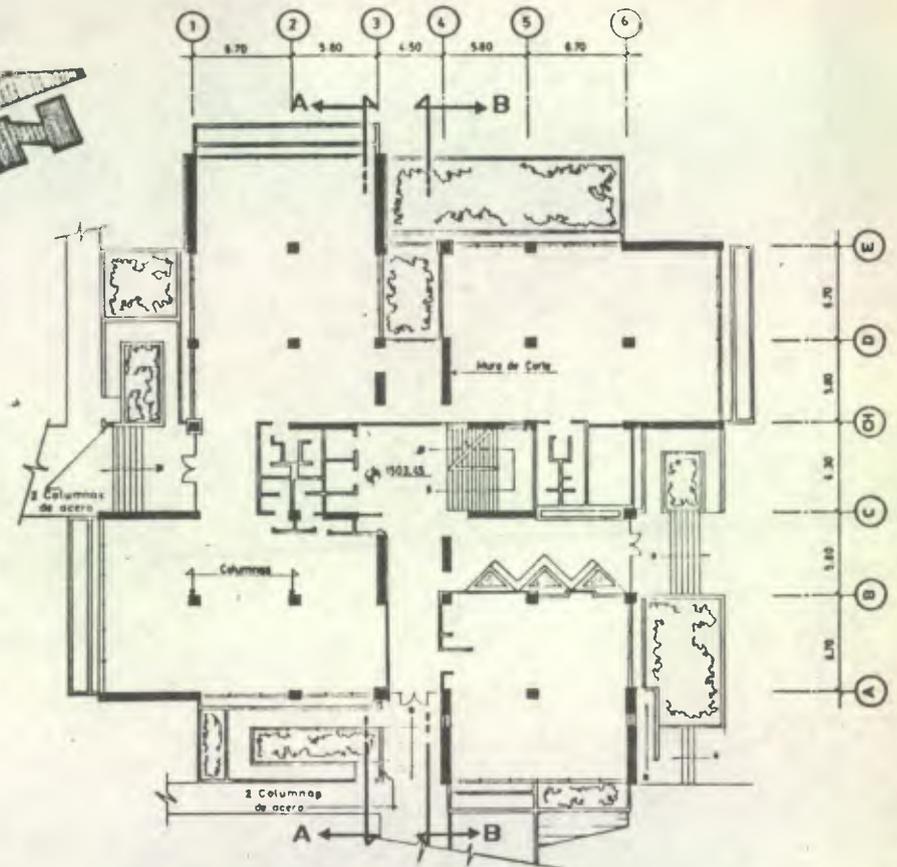
(36) Muñoz Duque Jaime. Conceptos estructurales en edificios Altos. Revista Escala 54-55 hoja 14. Bogotá Colombia.

(37) Petrigani Achille. Ob. Cit. pag. 62. Segundo Párrafo.

los recubre, que preferentemente trabaja a compresión. Este hecho es justificable sólo en términos de riqueza expresiva.



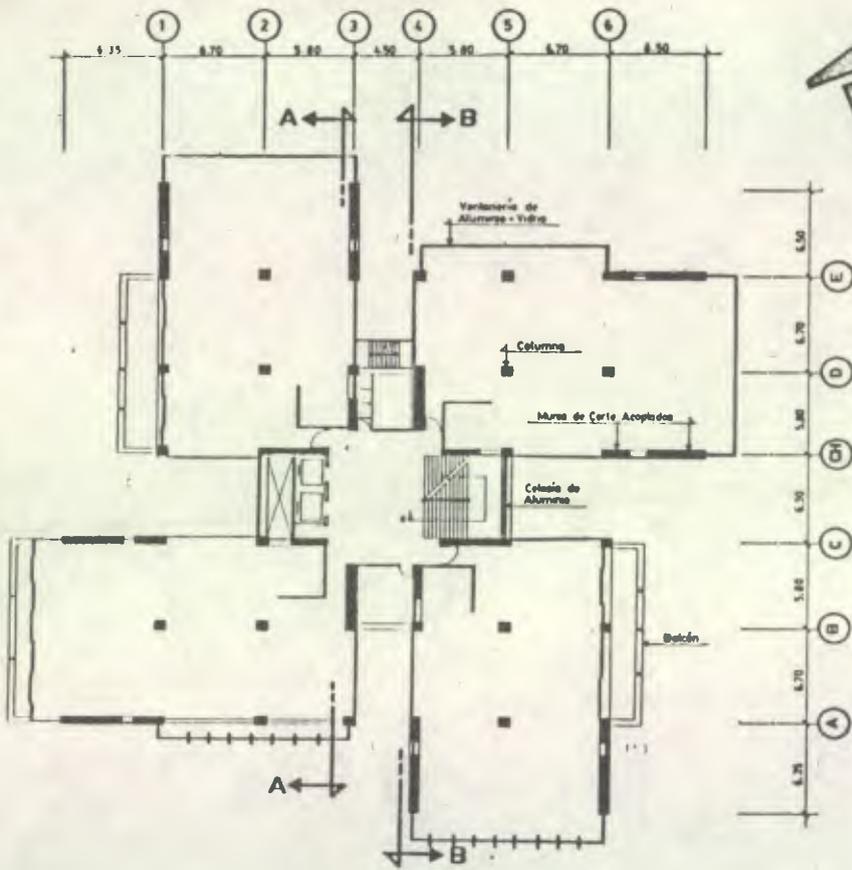
PLANTA SÓTANO escala 1:200



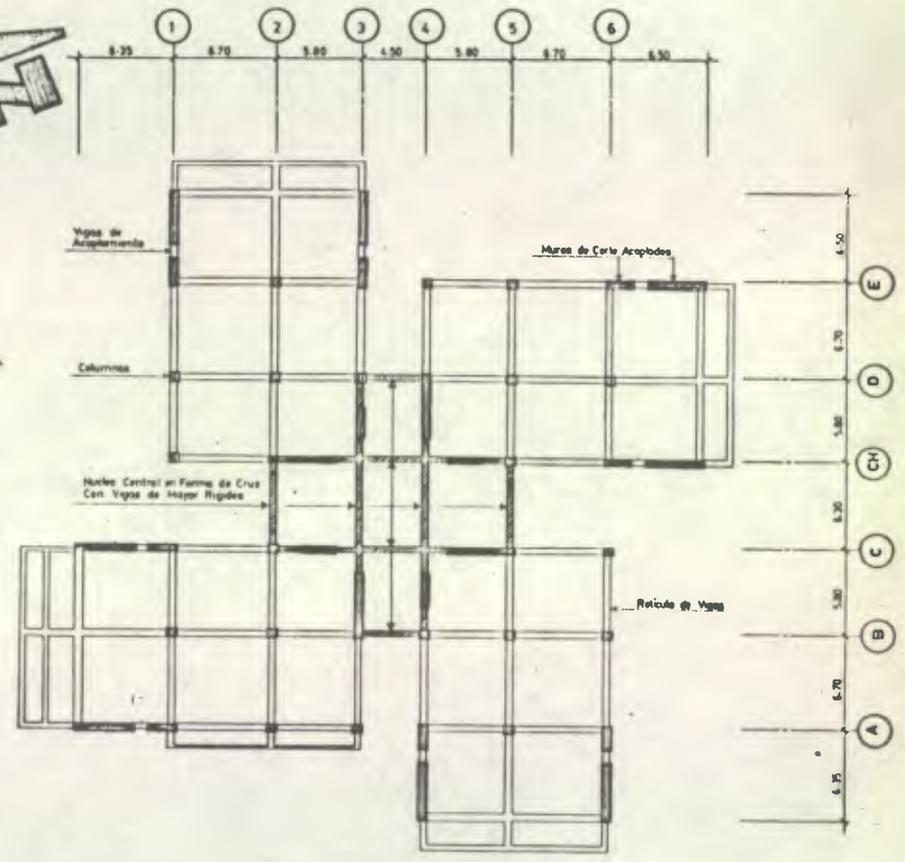
PLANTA PRIMER NIVEL escala 1:200

- NOTA**
- Planos de elaboración propia basados en planos de taller consultados
 - Fuente de información:
 - Archivo de oficina Arqs. Pelayo Llerena y Colaboradores.
 - Archivo del Depto. de Construcción Urbana, Municipalidad de Guatemala





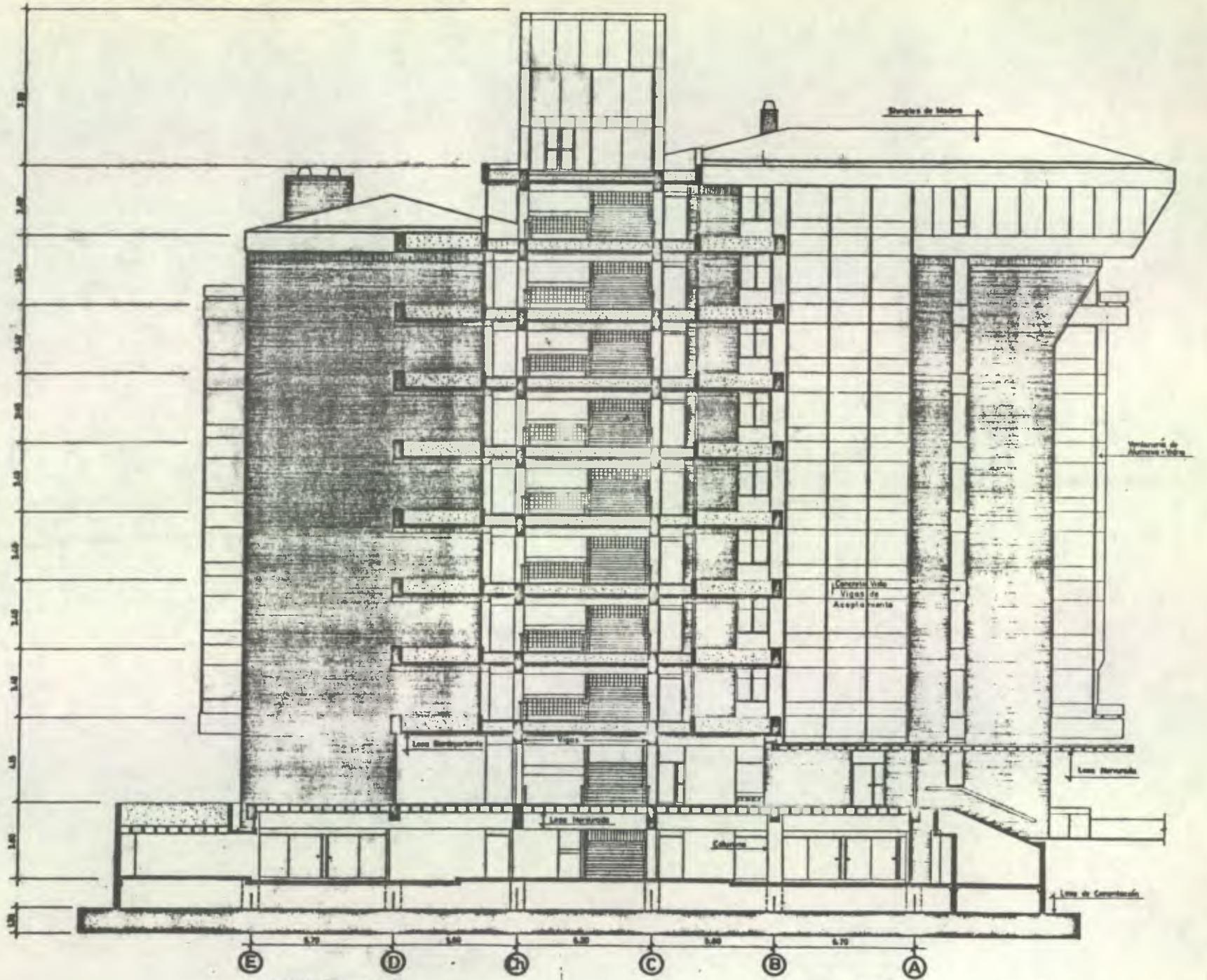
PLANTA TÍPICA (Existen pequeñas variaciones) escala 1:200



GRÁFICA AUXILIAR 1 PLANTA ESTRUCTURAL DE MUROS Y VIGAS escala 1:200



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 Biblioteca



SECCIÓN B-B

escala 1:100



5. CUADROS SÍNTESIS.

No.	Proyecto	Sistema Estructural	Tipo Estructural	Eficiencia del sistema	Adecuación Expresión Formal y estructura
1.	Gimnasio Típico de la C.D.A.G.	Estructura Triangular	Arcos por Triangulación	En términos generales aceptable	En términos Generales aceptable.
2	Templo Católico San Judas Tadeo	Estructura Triangular	Armaduras Peraltadas radiales.	En términos generales aceptable	En términos generales aceptable.
3.	Auditorio de Fac. Agronomía USAC.	Estructura Laminar	Lámina Esférica	En términos generales aceptable. cuestionamientos no significativos	En términos Generales aceptable.
4	Aeropuerto "La Aurora"	Estr. Laminar + Estr. Masiva.	Lamina plegada + Losa nervurada oblicua.	En términos generales aceptable. Cuestionamientos no significativos	En términos generales aceptable.
5.	Edificio de Telecomunicación "Vista Hermosa"	Estr. Laminar + Estr. Masiva	Lámina cilíndrica + Losa borde-portante.	Cuestionable, El sistema es desvirtuado.	Cuestionable.
6.	Edificio de Rectoría USAC	Estructura Masiva	Losa Reticular Celulada.	Cuestionable por aspectos significativos	Cuestionable.
7.	Edif. de Fac. de Arquitectura USAC	Estructura Masiva	Losa Reticular celulada	En términos generales aceptables. Cuestionamientos no significativos	En términos generales aceptable.
8.	Edificio IBM de Guatemala	Estructura Masiva	Marcos Vierendeel + Losa nervurada en un sentido	Aceptable	En términos Generales aceptable.
9.	Edificio del Ministerio de Finanzas.	Estructura Vertical	Sistema Reticulado	Aceptable, con cuestionamientos no significativos.	En términos generales aceptable.
10.	Edificio COGEFAR.	Estructura Vertical.	Sistema Reticulado + Muros de corte.	Aceptable, con cuestionamientos no significativos	En términos Generales aceptable.

ELEMENTOS DE CUBIERTA

No.	a) Principales	b) Rigidizantes	c) Esfuerzos principales	d) Materiales	Adecuación entre "c" y "d"
1.	Arcos de tres articulaciones.	Armaduras de peralte constante. + costaneras	Compresión Simple. Tracción Simple	Acero	Aceptable.
2.	Armaduras peraltadas radiales + vigas/tendal	Sistema autorigidizante	Compresión Simple Tracción Simple	Acero + madera.	Aceptable.
3.	Lámina Esférica	Arcos parabólicos de borde.	Flexo/compresión Compresión Simple	concreto Reforzado.	Aceptable.
4.	Lámina Plegada	Vigas y diagramas de borde libre.	Flexo/compresión	Concreto Reforzado	Aceptable.
5.	lámina cilíndrica	Nervio rigidizante + lámina de borde libre.	Flexo/compresión	Concreto reforzado	Aceptable.
6.	Losa Reticular Celulada	Sistema autorigidizante	Flexión	concreto Reforzado.	Aceptable.
7.	Losa Reticular Celulada.	Sistema autorigidizante	Flexión	concreto Reforzado	Aceptable.
8.	Losa Nervurada en un sentido	Sistema Autorigidizante	Flexión	Concreto Reforzado pre y post-tensado.	Aceptable.
9.	Losa Nervurada en un sentido tipo compuesta	conectores + Nervios de rigidez	Flexión. Corte,	a) Acero + Concreto reforzado b) Acero.	Aceptable
10.	Artesonados de cuatro aguas.	Sistema autorigidizante.	flexo/compresión	Madera	Aceptable.

ELEMENTOS DE ENTREPISO

No.	a) Principales	b) Rigidizantes	c) Esfuerzos Principales	d) Materiales	Adecuación entre "c" y "d"
1.	-----	-----	-----	-----	-----
2.	Losa bordepor- tante de coro.	Ninguno	Flexión	Concreto Reforzado	Aceptable
3.	-----	-----	-----	-----	-----
4.	Losa nervurada oblicua.	Sistema Auto- rigidizante	Flexión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
5.	Losa bordepor- tante.	Ninguno.	Flexión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
6.	Losa Reticular Celulada	Sistema Auto- rigidizante.	Flexión.	Concreto Reforzado.	Aceptable.
7.	Losa Reticular Celulada.	Sistema Auto- rigidizante	Flexión.	Concreto Reforzado	Aceptable.
8.	Losa Nervurada de un sentido.	Sistema Auto- rigidizante	Flexión.	Concreto Reforzado.	Aceptable.
9.	Losa Nervurada en un sentido tipo compuesta	Conectores + Nervios de rigidez	Flexión + Corte.	a) Acero + con- creto ref. b) Acero.	Aceptable.
10.	Combinación de losa bordepor- tante y nervurada	Sistema Auto- rigidizante.	Flexión + Corte	Concreto Reforzado.	Aceptable.

ELEMENTOS PORTANTES

No.	a) Principales	b) Rigidizantes	c) Esfuerzos Principales	d) Materiales	Adecuación entre "c2 y "d"
1.	Cerchas de 3 columnas + 1 viga inclinada.	3 vigas transversales	flexo compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
2.	Muros perimetrales de carga.	Ninguno	Compresión.	Mampostería de ladrillo.	Aceptable.
3.	Lámina esférica	Arcos Parabólicos de borde.	Flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
4.	Columnas Elípticas	Cubierta y entrepisos.	Flexo/compresión + Corte	Concreto Reforzado.	Aceptable.
5.	Columnas de Sección Variable.	Sillar de Amarre + Muro de corte.	Flexo/compresión + corte	Concreto Reforzado.	Aceptable.
6.	Columnas de Sección Variable.	Cubierta y entrepisos + Muros de corte.	Flexo/compresión + Corte	Concreto Reforzado.	Aceptable.
7.	Columnas de Sección constante.	Cubierta y entrepisos.	Flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
8.	Columnas + Marcos tipo Vierendeel.	Sistema Autorigidizante.	Flexo/compresión + Corte + Flexión.	Concreto Reforzado	Aceptable.
9.	Columnas Perfil WF	Sistema de embreizado.	Flexo/compresión + Corte	Acero.	Aceptable.
10.	Columnas de sección variable + Muros de corte	Cubierta y entrepisos + Muros de corte.	Flexo/compresión + Corte.	Concreto Reforzado	Aceptable.

ELEMENTOS DE CIMENTACION

No.	a) Principales	b) Rigidizantes	c) Esfuerzos Principales	d) Materiales	Adecuación entre "c2 y "d"
1.	Zapatas Aisladas	Vigas/soleras de amarre	Flexo/compresión + tracción	Concreto Reforzado.	Aceptable.
2.	Cimiento corrido tipo "T" Invertida.	Ninguno	Flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
3.	Zapatas Aisladas	Tensores de Amarre.	Flexo/compresión + tracción.	Concreto Reforzado.	Aceptable.
4.	Zapatas Aisladas	Información Desconocida.	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
5.	Zapatas Aisladas	Vigas/soleras de amarre.	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
6.	Zapatas Aisladas	Vigas/soleras de amarre	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
7.	Zapatas Aisladas	Vigas/soleras de amarre.	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
8.	Zapatas Aisladas	Vigas/soleras de amarre	flexo/compresión	Concreto Reforzado	Aceptable.
9.	Retícula de Ancha base tipo doble "T" invertida.	Nervio rigidizante.	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.
10.	Losa de Cimentación	Sistema autorigidizante.	flexo/compresión	Concreto Reforzado.	Aceptable.

6. CONCLUSIONES.

El carácter descriptivo del estudio permite advertir cuatro aspectos básicos relativos a los sistemas estructurales de las edificaciones contemporáneas de Guatemala.

De los Sistemas Estructurales:

- De acuerdo a la clasificación planteada, los sistemas estructurales más ampliamente experimentados en nuestro medio en la producción arquitectónica son las estructuras trianguladas, las estructuras superficiales, las estructuras masivas y las estructuras verticales; de cuya existencia y planificación hay testimonio abundante. De los cuatro grupos señalados, según se aprecia en el estudio, las estructuras masivas son las de mayor frecuencia de uso.
- Sin embargo, como es natural se da comúnmente la combinación de sistemas y/o tipos estructurales, en los que regularmente si puede advertirse la acción primordial de uno de ellos.
- El segundo grupo planteado en la clasificación del capítulo 3, las estructuras funiculares, aparentemente no han sido plenamente desarrolladas y difundidas por la tecnología local en la producción arquitectónica. Las estructuras funiculares lineales (arco y cable) aunque experimentados (38) pareciera que han sido más ampliamente desarrollados en obras civiles tales como puentes, acueductos, cuya producción aunque no ajena al arquitecto; son práctica más directa de la Ingeniería. En estructuras funiculares superficiales (sistemas de tienda y sistemas neumáticos) dada su vocación, la experiencia parece reducirse al montaje de elementos de uso momentáneo y muy circunstancial como pabellones de feria y de cuyas características no fue posible obtener información por su improvisado y poco difundido proceso de producción.

De los materiales de Construcción:

- Para las estructuras trianguladas los materiales utilizados son el acero y la madera, siendo en los casos estudiados como cubiertas únicamente.
- El concreto reforzado es el material utilizado en las estructuras laminares, indudablemente por su facilidad de manejo previo endurecimiento.

(38) Arq. José Asturias Rudeke en entrevista personal.

- También en las estructuras masivas es el concreto reforzado el material utilizado.
- En las estructuras verticales se ha experimentado tanto el acero como el concreto reforzado.

Lo anterior implica que el material utilizado preferentemente es el concreto reforzado, de la siguiente forma:

- Su uso es invariable en los sistemas de cimentación que generalmente son apoyadas sobre el terreno firme y relativamente superficiales.
- Su uso es preferente también en los elementos portantes y de entrepisos, siendo mínimo el uso de acero en estos casos y aislado el de mampostería como elemento portante.
- Las mas significativas variaciones se dan en los elementos de cubierta, en los que se puede apreciar el uso tanto de concreto reforzado como de acero y madeta. Estos últimos son utilizados preferentemente en estructuras trianguladas.

De la Eficiencia Estructural:

- Puede advertirse que generalmente los materiales utilizados responden a los esfuerzos generados en los elementos de los distintos sistemas estructurales.
- En casos aislados se da la correspondencia de los sistemas reales con los esquemas teóricos/ideales.
- Los aspectos cuestionables planteados en la evaluación y síntesis de cada edificio generalmente no son altamente significativa.
- Los requisitos estructurales Resistencia y equilibrio son invariablemente resueltos.
- Los requisitos estructurales Economía, Funcionalidad y Estética constituyen los elementos de mayor cuestionamiento.
- Los casos aislados se desvirtúa la eficiencia (economía, funcionalidad y estética) pero nunca la eficacia (Resistencia y equilibrio), lo que pareciera ser consecuencia de la invariable participación de profesionales en el proceso de planificación y construcción.

De la Expresión Formal:

- En casos aislados se advierte la contradicción a la lógica estructural de las edificaciones, lo que aparentemente obedece a la búsqueda de riqueza expresiva, ya resuelta la estática del sistema.
- Generalmente en la expresión formal se dan aspectos cuestionables que no significan la total contradicción a la lógica estructural, de tal forma que, los aspectos señalados no son altamente significativos.

7. RECOMENDACIONES.

7.1 A NIVEL ACADEMICO.

Dado el carácter descriptivo del trabajo y ya establecido el diagnóstico de la muestra, son detectables algunas características no objeto de estudio en el presente, pero si afines y complementarias al tema:

- Es apreciable, la carencia de ejemplos de sistemas estructurales funiculares (tanto lineales como superficiales) en la producción arquitectónica.
- La marcada preferencia del concreto reforzado como material estructural sobre el acero madera y otros.
- En apariencia los sistemas estructurales laminares eran ~~estructuras~~ más usadas en años pasados y relativamente abandonados al presente.
- Los sistemas de cimentación profunda, de especiales métodos constructivos, son en ~~apar~~encia inexistentes en las edificaciones del área de estudio.

Para cada uno de los aspectos señalados es necesario hacer estudios precisos y detallados que permitan establecer las razones y características de cada uno. Con ello, además de ampliar el presente estudio, se estaría retroalimentando la investigación continua de la materia.

También conviene la formulación de nuevos modelos de análisis de tal suerte que en lo posible se contemplen la totalidad de condicionantes del proyecto.

Para eso es imprescindible estimular la creación de un banco de temas "Objeto de Estudio", de tal forma que el interesado sea orientado en su investigación desde el inicio.

Con la intención de que se desarrollen investigaciones relativas a Sistemas estructurales aplicables a nuestro medio (a todo nivel) en función de los recursos técnicos, humanos y naturales, conviene la creación de cursos/seminarios que dentro del pensum de estudios estimulen en el futuro arquitecto el interés por el tema.

Como medidas básicas, es recomendable en principio, la solidificación de los objetivos del Centro de Investigación de la Facultad de Arquitectura (véase el informe de CIFA, presentado en el CONEVAL 87') y fundamentalmente promover su acción directriz en los estudios e investigaciones relativos a la unidad de Física y Estructuras (Unidad 1.2).

7.2 A NIVEL PROFESIONAL.

Siendo el campo profesional lo suficientemente amplio en experiencia y aparentemente poco retroalimentador de los contenidos académicos, conviene en principio estimular en los profesionales de la Arquitectura su participación en el proceso retroalimentador, a través de hacer partícipes de las experiencias mas significativas que en este campo se den.

Deberá ser el Colegio de Arquitectos el encargado de establecer los mecanismos para que tal participación sea efectiva.

8. BIBLIOGRAFÍA

8.1 LIBROS CONSULTADOS.

- Arcangeli, Atilio. LA ESTRUCTURA EN LA ARQUITECTURA MODERNA. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Buenos Aires, 1975.
- Asti Vera, Armando. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION. Editorial Kapelusz. Buenos Aires, Argentina, 1973.
- Cardelach, Félix. FILOSOFIA DE LAS ESTRUCTURAS. Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, 1970.
- Engel, Heinrich. SISTEMAS DE ESTRUCTURAS. H. Blume Ediciones. España, 1975.
- Escobar Jorge, INTRODUCCION A LA TIPOLOGIA ESTRUCTURAL. Editorial Plus Ultra, S.A. Guatemala, 1985.
- Escobar, Jorge. SISTEMAS ESTRUCTURALES EN ARQUITECTURA. Volumen 13 Colección Aula. Editorial Universitaria. Guatemala, 1975.
- Francis A.J. INTRODUCCION A LAS ESTRUCTURAS. Editorial Limusa. México, 1984.
- Frei, Otto. CUBIERTAS COLGANTES. Editorial Labor S.A. Barcelona 1958.
- Hernández Sifontes, Julio. COMO INVESTIGAR EN GUATEMALA. Imprenta y fotograbado Llerena S.A. Guatemala, 1987.
- López Rangel, Rafael. CONTRIBUCION A LA VISION CRITICA DE LA ARQUITECTURA. Editorial Libros de México, S.A. 1977.
- Nervi, Pier Luigi. CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS. Editorial Gustavo Gili, S.A. España, 1958.
- Olvera, Alfonso. ANALISIS DE ESTRUCTURAS. Editorial Continental S.A. México, 1982.
- Petrigani, Achille. TECNOLOGIA DE LA ARQUITECTURA. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona 1979.
- Salvadori Mario y Heller Robert. ESTRUCTURAS PARA ARQUITECTOS. Editorial La Isla. Buenos Aires, 1978.
- Siegel, Curt. FORMAS ESTRUCTURALES EN LA ARQUITECTURA MODERNA. Editorial Continental México, 1966.
- Torroja, Eduardo. RAZON Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES. Editorial MAG. S.L. Madrid, 1971.

8.2 TESIS CONSULTADAS.

- Araujo Cassiano, Guillermo. ESTEREOESTRUCTURAS DE FERRO-CEMENTO. Tesis, Facultad de Arquitectura, USAC. Guatemala, 1984.
- Escobar Ortiz, Jorge. SISTEMAS ESTRUCTURALES EN ARQUITECTURA. Tesis, Facultad de Arquitectura, USAC. Guatemala, 1973.
- Morales Salazar, Arnoldo. ANALISIS CUALITATIVO DE ESTRUCTURAS. Tesis, Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala, 1979.
- Saca Giacomani Evelyn. LOGICA ESTRUCTURAL EN ALGUNAS EDIFICACIONES RURALES DE LA ZONA ORIENTE Y DEL ALTIPLANO DE GUATEMALA. Tesis, Facultad de Arquitectura, USAC. Guatemala, 1980.

8.3 FOLLETAS, DOCUMENTOS Y REVISTAS CONSULTADAS.

- Escobar, Jorge. LA IMPORTANCIA DEL TRABAJO EN EQUIPO EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL. Revista Arquitectura Volumen 5, número 10. Guatemala. 1978.
- Hernández Patricia. PARA INVESTIGAR. Ed. Ceur. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 1984.
- Muñoz Duque, Jaime. CONCEPTOS ESTRUCTURALES EN EDIFICIOS ALTOS. Revista Escala No. 54-55 Bogotá, 1973.
- Programa EPSDA. GUIA PARA LA ELABORACION DE UNA PROPUESTA DE TESIS DE GRADO. Fac. de Arquitectura USAC. Guatemala, 1987.

8.4 FUENTES DE INFORMACION.

8.4.1 INSTITUCIONALES.

- Biblioteca Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad de San Carlos (CEUR).
- Centro de Información y Documentación de Arquitectura (CIDAR).
- Departamento de Construcción Urbana de la Municipalidad de Guatemala, Archivo.
- Departamento de Diseño y Urbanización y Construcción de la Universidad de San Carlos. Archivo.
- Departamento de Mantenimiento del Edificio del Ministerio de Finanzas. Archivo.

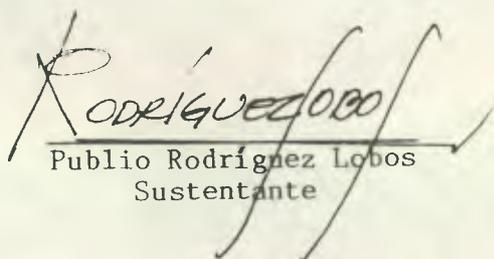
- Dirección General de Obras Públicas. (DGOP). Archivo.
- Dirección de Ingeniería de la Confederación Deportiva Autónoma de Guatemala (CDAG). Archivo.

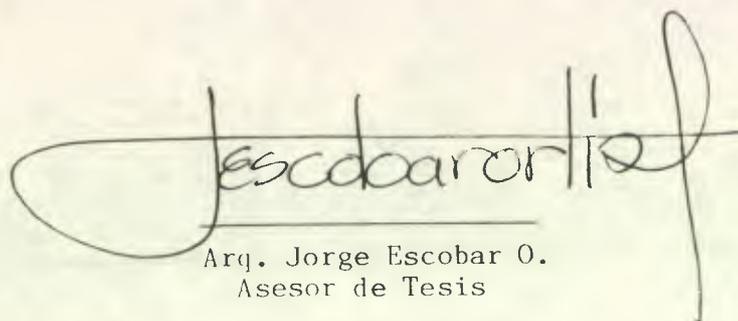
8.4.2 PRIVADAS.

- Of. del Arq. José Asturias Rudeke. Archivo.
- Of. Arqs. Pelayo Llarena y Colaboradores. Archivo.
- Oficina del Arq. Roberto Ogarrio. Archivo.

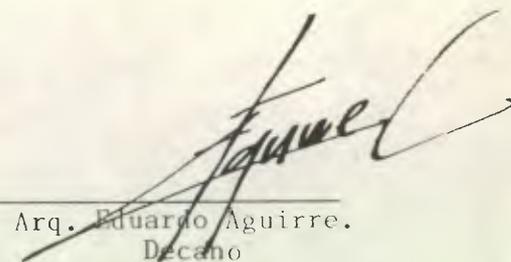
8.4.3 ENTREVISTAS.

- Arq. José Asturias Rudeke.
- Arq. Inf. Mauricio de León.
- Arq. Pelayo Llarena.
- Ing. Vicente Mazariegos.
- Arq. Roberto Ogarrio.
- Arq. Oscar Orellana.


Publio Rodríguez Lobos
Sustentante


Arq. Jorge Escobar O.
Asesor de Tesis

IMPRTMASE


Arq. Eduardo Aguirre.
Decano