



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ARQUITECTURA



“EL APRENDIZAJE DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ARQUITECTURA”

Un método basado en el Sistema Estructural como Forma
Arquitectónica

TESIS TEÓRICA QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE ARQUITECTA
PRESENTA: NOEMI MONSERRAT GARCÍA RODRÍGUEZ

SINODALES:

- ARQ. JESÚS RAÚL GONZÁLEZ JACOME
- ARQ. FRANCISCO HERNÁNDEZ SPINOLA
- MTRO. FRANCISCO NICHOLAS DE LA ISLA O NEILL





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Quiero agradecer:

A mis hermanos Ana Berenice y Edgar Emanuel y a mis amigos Noemi López, Carolina Lazaro, Blanca López, Betsy Aguilar, Itzel García, Dulce Espinoza, Brenda Oliva, Brenda Reyna y Sharon Hernández, quienes siempre me brindaron su apoyo, depositaron su fé en mí y me alentaron a seguir a delante cuando más derrotada me sentía.

A mis sinodales el Arq. Jesús Raúl Jacome, Francisco Hernández y Francisco de la Isla, quienes mostraron gran paciencia conmigo y con mi tema de tesis apoyandome incondicionalmente, a mis maestros el Arq. Jorge Galaviz, quien me mostró este amor por las estructuras y me motivo a hacer siempre lo mejor de mí, a la Arq. Adriana López quien me dio las bases y todos los conocimientos necesarios para enfrentarme a la carrera de Arquitectura, a todos los maestros que siempre me apoyaron, acompañaron y me mostraron que los profesores son como nuestros segundos padres Cecilia Osornio y Juan José Chino, y a los que me retaron a tal grado de volverme mejor cada día Juan Quiles y sobre todo Sánchez Rojas quien durante un examen de física me dijo “mejor estudia arquitectura del paisaje porque ahí no vas a necesitar física”, y me creó un amor aún mayor a las estructuras, por que cuando te digan “No puedes!!”, responde “Observa como lo hago!!”.

Pero sobre todo quiero agradecer a la persona que me ha acompañado en cada momento de mi vida, que ha estado ahí en cada caída y en cada triunfo, a la persona que lo ha entregado todo por mí y mis hermanos; quien pasó a mi lado cada uno de mis desvelos y me persiguió con el plato de comida durante cada una de mis entregas, porque si he llegado hasta aquí ha sido gracias a ella, la Cp. Ana Noemi Rodriguez ; por todo eso y más, gracias mamá.

Gracias por todo su apoyo y aprecio.

05/2018

“Principios del Diseño Estructural, como determinantes básicos de la Forma Arquitectónica”

El motivo de esta tesis es concientizar a todo aquel que este interesado en el área de la construcción sobre la importancia de las estructuras, ya que un fallo en ellas podría ocasionar la muerte de cientos de personas, pero sobre todo está dirigida a todos esos arquitectos o estudiantes de arquitectura que creen que el tema de las estructuras es exclusivo de los ingenieros civiles, pensando de esta manera que están deslindados de la obligación de saber de sistemas estructurales.

El proyecto consta de una recopilación y explicación básica de los temas estructurales que a mi criterio debiera conocer un arquitecto proyectista, en el momento de diseñar un edificio con los métodos constructivos clásicos (como son marcos rígidos y muros de carga, con concreto, acero y mampostería); así como su aplicación en la estructuración de un edificio.

Pretendiendo coadyuvar a solucionar la ruptura entre la estructuración del edificio y el proyecto mismo, la cual se ha generado en mi opinión a que la gran mayoría de los arquitectos se han desligado de la práctica estructural, cediendo este campo de estudio tan fundamental del proyecto a otras profesiones, provocando una disgregación en lo que siempre ha sido un conjunto indivisible, pues la estructura del edificio depende directamente de la forma del mismo y viceversa. Y si no se atienden a la par desde un principio, se puede generar mayor dificultad y un mayor gasto al tratar de empatar ambas cosas posterior a su diseño, utilizando sistemas y materiales más costosos, o bien que aparezcan elementos estructurales en zonas del proyecto que no deberían de estar por cuestiones de funcionalidad, como una columna a mitad de la sala o de una escalera, y en el peor de los casos, la falta de desconocimiento de las estructuras al momento de concebir un edificio, puede llegar incluso a provocar que por un mal manejo de su masa se provoque el volcamiento del edificio o incluso su colapso.

Por lo que en esta investigación se abordarán los criterios y conocimientos necesarios sobre las estructuras que hay que considerar antes y durante el diseño de un edificio. Posteriormente se aplicarán estos criterios en el desarrollo de un edificio, demostrando el funcionamiento de la estructura obtenida.

Tratando de lograr que el arquitecto se interese por las estructuras, concientizar al arquitecto proyectista sobre la importancia de considerar la estructura y tenerla presente antes y durante el proceso del diseño arquitectónico; así como tratar de guiarlo en su aprendizaje, buscando transmitir el conocimiento sobre el comportamiento de las estructuras de la forma más simple, teniendo en cuenta que los sistemas estructurales no son más que un conjunto de fuerzas vistas como vectores, actuando sobre una geometría.

Contenido:

1.	CONTEXTO	1
	1.1.Planteamiento del problema	
	1.2.Antecedentes	
	1.3.Justificación	
	1.4.Objetivos	
	1.5.Metodología y Estrategia	
2.	EL SISTEMA ESTRUCTURAL Y SUS CRITERIOS A CONSIDERAR	16
	2.1.Qué es un sistema estructural	
	2.2.Tipos de esfuerzos que debe soportar una estructura	
	2.3.Elección de la forma y su materialidad	
	2.3.1.Piedra y todo tipo de mampostería	
	2.3.2.Madera	
	2.3.3.Acero	
	2.3.4.Concreto armado	
	2.4.El efecto de la escala	
	2.5.Esquema compositivo o estructural (Sistema total)	
	2.6. Elementos estructurales en los Sistemas tradicionales	
	2.6.1.Elementos verticales	
	2.6.2.Elementos horizontales	
	2.6.3.Estructuras espaciales	
3.	ESTÁTICA O EQUILIBRIO	35
	3.1.¿Qué es la Fuerza?	
	3.2. Suma y resta de fuerzas (suma de vectores)	
	3.3.Primer Condición del equilibrio	
	3.3.1.Primer y tercera Ley de Newton	
	3.3.2.Diagramas de cuerpo libre	
	3.4.Segunda condición del equilibrio	
	3.4.1.Momento de torsión y equilibrio rotacional	
	3.5.Apoyos y reacciones	
	3.6.Solución de elementos horizontales	
	3.6.1. Solución de vigas	
	3.6.2. Solución de armaduras	

4.	OBTENCIÓN DE LA FORMA ARQUITECTÓNICA Y ESTRUCTURAL.	51
	4.1.Determinantes de la Forma Arquitectónica	
	4.2.Proceso de diseño arquitectónico	
	4.3.Elección del sistema estructural y sub-sistemas	
5.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	64
	5.1.Bajada de cargas	
	5.1.1 Cargas vivas	
	5.1.2 Cargas muertas	
	5.2.Excentricidad en los edificios y su Momento de volteo	
	5.2.1.Búsqueda del centroide de carga	
	5.2.2.Búsqueda del centroide de rigidez	
	5.2.3.Obtención de la excentricidad del edificio	
6.	CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	76
	7.1.Cálculo y diseño de cimentaciones	
	7.1.1.Momento de volteo y su sobre carga en la cimentación	
	7.1.2.Momento por asentamiento y Momento por flexión	
	7.1.3.Cortante sísmico, factor de seguridad y su sobre carga en la cimentación	
	7.2.Cálculo y diseño de dados y contratraves	
	7.2.1.Asentamientos	
	7.3.Cálculo y diseño de columnas	
	7.3.1.Diseño por flexión	
	7.3.2.Diseño por compresión	
	7.3.3.Diseño por cortante	
	7.4.Pórticos simples y múltiples	
	7.4.1.Efectos gravitacionales, desplazamientos verticales y horizontales y dimensionamiento de las secciones.	
	7.4.2.Momento de inercia y momento de empotre.	
	7.4.3.Flechas y desplazamientos permitidos.	
	7.5.Cálculo y diseño de losas	
7.	REFLEXIONES Y CONCLUSIONES.	96

1. “La Estructura como Forma Arquitectónica”

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El avance científico y tecnológico ha impulsado a todas las disciplinas a la adquisición de un campo de conocimiento y de estudio cada vez mayor, siendo imposible abarcar un conocimiento tan amplio que profundice en cada una de sus ramas, lo que ha dado como resultado la incorporación de especialistas en cada una de las áreas que componen dichas disciplinas; y la Arquitectura no ha sido la excepción.

Pues con el avance tecnológico, y la adquisición de métodos de diseño y de estudio más complejos en la arquitectura, ha surgido una tendencia a separarse, creando así la disciplina de ingeniería civil¹, encargada de profundizar en temas que competen a la obra civil (valga la redundancia), es decir, a todo lo referido con la infraestructura urbana.

Sin embargo, esta división también ha generado una brecha educativa y de comunicación entre ambas disciplinas, reduciendo la relación espacio-forma y conceptos tecnológicos, ya que el ingeniero muestra una gran falta de habilidad para conceptualizar el espacio y el arquitecto una gran incongruencia en la configuración del sistema estructural del espacio.

1.2 ANTECEDENTES:

Desde que se tienen registros de la Arquitectura, el arquitecto siempre se ha caracterizado por sus conocimientos técnico-constructivos, además de su gran habilidad para configurar espacios cargados de una gran estética.



Imagen 1. Estatuilla de Imhotep.

En la época de Imhotep (aprox. 2690-2610 a.C.)², el arquitecto realizaba todo lo que tuviese que ver con las construcciones religiosas, fúnebres y gubernamentales y tenía que saber de astrología y teología, donde el arquitecto era considerado casi una deidad, como se muestra en la estatuilla de Imhotep en el Museo de Louvre (ver imagen 1), donde Asimov la describe con la siguiente cita: *“los egipcios consideraron a Imhotep como el dios de la medicina y la sabiduría y se le representa sentado, como a los escribas, con un papiro desplegado sobre sus rodillas, tocado con un casquete. Ciertamente, en la época de Imhotep*



Imagen 2. Pirámide escalonada de Zoser, 2650 a.C. construida por Imhotep.

¹ T.Y. LIN y SYDNEY D. STOTESBURY, “Conceptos y Sistemas Estructurales para Arquitectos e Ingenieros”, Editorial Limusa, México 1991, pág. 1

² LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963. pág. 18

fue elevado a rango de dios”³, su obra más destacada fue el recinto sagrado de Sakkara⁴, también conocida como la pirámide de Zoser (ver imagen 2), que con “sus 60 metros de altura, era la construcción más grandiosa que habían acometido los egipcios hasta la época”⁵, posteriormente en la época de Vitruvio (70-25 a.C.), el arquitecto debía ser un artista con conocimientos físico-matemáticos, capaz de realizar construcciones que tuvieran como objetivo optimizar y dar comodidad a lo que se requería. Vitruvio afirmaba que todo edificio debía proyectarse bajo los criterios de utilidad, firmeza y belleza; pues a pesar de que “un palacio debe ser construido pensando en la belleza [...] debe ser proyectado para perdurar”⁶

Durante el imperio de Augusto en Roma la arquitectura se vio muy provechosa, y se crearon varias reformas en la arquitectura, entre ellas el Arco Romano, el uso del hormigón [claro está que no nos referimos al hormigón Portland del siglo XIX, sino del cementante como aglomerado], los ordenes Toscano y Compuesto, pero sobre todo la audacia estructural con su estabilidad basada en la masa. Un claro ejemplo es la Cúpula en el Panteón de Agripa, el cual fue mandado construir por Agripa en el año 27 a.C., pero reformado en el 120 d.C. por Adriano. Su diámetro y altura son de 43 m. ambos. Es la mayor cúpula de la Antigüedad que hace sentirse empequeñecido al espectador. En su parte inferior existe un gran tambor, que es lo que sostiene a la cúpula. Este enorme tambor presenta huecos aprovechadas en las



Imagen 3. Cúpula del Panteón de Agripa en Roma.

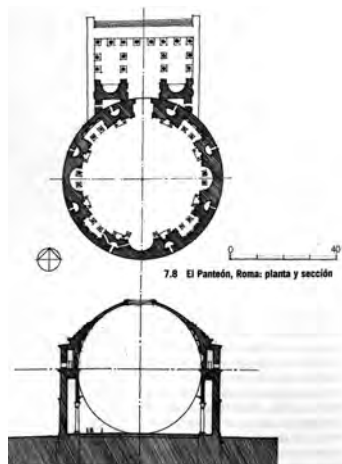


Imagen 4. Planta y corte de la cúpula del Panteón de Agripa.

que existen dos pilastras corintias que sostienen la parte superior del tambor. El equilibrio y perdurabilidad de la obra se aseguró por el procedimiento de aligerar la construcción todo lo posible sin reducir la resistencia de la estructura. Toda la obra se vuelve más esbelta a medida que avanza en altura. En el centro de la cúpula existe un gran óculo, que permite la claridad y servía para la salida de humos, pero a su vez funge como anillo de compresión. Siendo recordada por su gran aplicación de la técnica, mayor alcanzada hasta ése entonces.

En el siglo XV, cuando el Renacimiento amenazaba por llegar con ideas y un pensamiento científico respecto al mundo. En 1419 basado en la tecnología aplicada en el la Cúpula del Panteón de Agripa, Filippo Brunelleschi resulta ganador del concurso de arquitectura que buscaba construir la cúpula de la Catedral de Florencia (ver imagen 5), de Santa María del Fiore. Más de 500 años

³Asimov, Isaac: Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología (1987) , Madrid, pág. 1.

⁴LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963. pág. 12

⁵ NATIONAL GEOGRAFIC, “La pirámide de Djoser” , agosto del 2013, consultado en http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/la-piramide-de-djoser_7518/3, junio del 2017.

⁶ “Una historia Universal de la Arquitectura”, pág 155

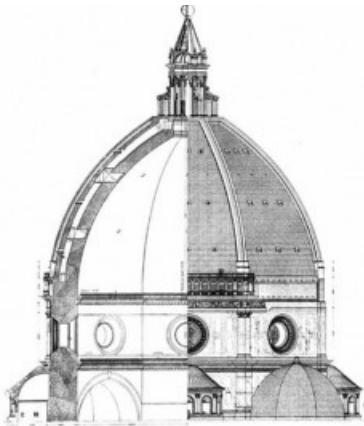


Imagen 5. Cúpula de Brunelleschi.

después de su construcción, el domo diseñado por Brunelleschi sigue siendo la mayor cúpula de mampostería que se haya construido en la historia. Sin dejar huella de planos o bocetos, los secretos de su construcción siguen siendo un enigma hasta el día de hoy, siendo la primer estructura que muestra haber tenido un análisis estructural y geométrico previo a su construcción, siendo un parte aguas para separar a la ingeniería de la arquitectura. Dejando rastro de un gran avance científico en la arquitectura.

A partir del siglo XVII y XVIII, con la llegada de la Revolución Industrial, la arquitectura comienza a dar pautas de grandes avances tecnológicos así como en la metodología en la configuración del espacio arquitectónico, y teniendo el gran estudio de Brunelleschi como

antecedente, en 1747 se crea la primer escuela de Ingeniería en el mundo, la École nationale des ponts et chaussées (Escuela Nacional de Puentes y caminos) en París (ver imagen 6), creando un parte aguas en las estructuras, ya que con la llegada de una nueva profesión que también estuviese vinculada a la construcción, se creó confusión en el papel que cada una debe cumplir, no sólo en el ámbito laboral, sino desde la formación académica, pues como la obra civil (refiriéndonos a la infraestructura urbana), requiere de una mayor especialización en la parte técnica constructiva, se comenzó a pensar que el ingeniero es quién se encarga de esta rama de la construcción.



Imagen 6. École National des Ponts et Chaussées.

Dando como resultado que para el s. XX se formaran arquitectos con ideas proyectistas independientes a las de concebir la estructura del edificio, como Le Cobousier, Gropius y Villagrán quienes vivieron en una época en la que importaba más la función (refiriéndonos a la distribución y uso adecuado del espacio) que la estética, aunque formando parte importante de la arquitectura, pero dejando de lado su parte ingenieril. Le Corbusier a pesar de ser un maestro en el tema funcional en cuanto a orientaciones, interrelación de espacios y uso, dejaba de lado el tema estructural, un claro ejemplo es la Villa Savoye, una vivienda de lujo, posada en el prado en medio de un bosque a unos 30km de París, donde Le Corbusier traza una grilla de



Imagen 7. Exterior de la Villa Savoye de Le Corbusier.

columnas, crea la envolvente y "*...después de establecer esta envolvente, se las ingenia para distribuir racionalmente en su interior todos los elementos funcionales.*"⁷, donde el mismo Le Corbusier afirma que una vez que ha tomado una retícula tan estricta de columnas resulta un poco complejo e inesperado el desarrollo del proyecto.

"Se trata de un paseo arquitectónico, que ofrece continuamente aspectos variados, inesperados, a veces sorprendentes. Es interesante obtener una diversidad cuando se ha admitido, por ejemplo, como

⁷BENEVOLO Historia de la Arquitectura, editorial Gustavo Gilli, Barcelona 1982, página 543

*sistema constructivo una malla absolutamente vigorosa de pilares y vigas [donde] resulta muy instructivo comparar las sucesivas reformas del proyecto*⁸.

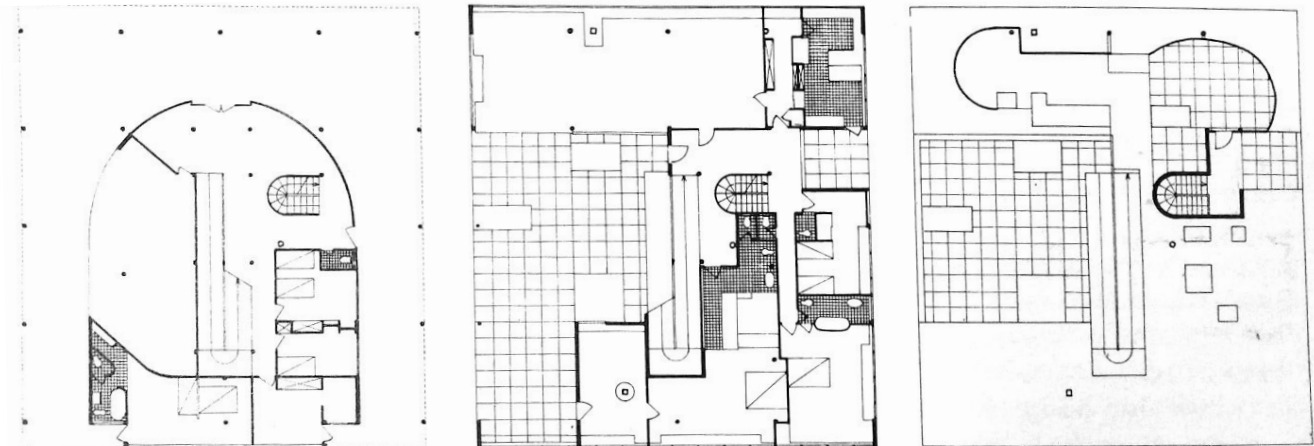


Imagen 8. Plantas del proceso de la casa Villa Savoye. LE CORBUSIER.

Hecho que se repite en la casa Curruchet ubicada en la Plata Argentina, la única casa de Le Corbusier en Latinoamérica, construida en 1955 y que tuve la fortuna de conocer, donde se puede observar que a pesar de ser un proyecto único lleno de recorridos y secuencias espaciales, con un juego de texturas con materiales como madera en celosías, no deja de resaltar el hecho de que tiene columnas innecesarias, producto evidente de una traza de columnas que no coinciden con el proyecto (ver imagen 11), que además estorban en varios puntos de la casa como es un semipatio a cubierto en planta baja, pero sobre todo en las esquinas de los muebles, y la verdad es que no me imagino las maniobras que tuvo que realizar el carpintero que los elaboro (ver imagen 10).



Imagen 9. Casa Curruchet



Imagen 10. Mobiliario interceptado por las columnas en el interior de la casa Curruchet.

⁸LE CORBUSIER y P. JEANNERET, Oeuvre complète 1929-1934, Zúrich, 1952, pág. 24

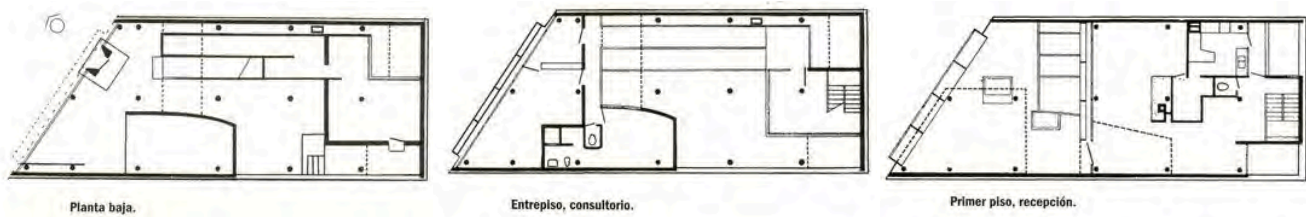


Imagen 11. Plantas arquitectónicas, de la casa Curruchet, donde se observa que el sembrado de las columnas no corresponde al proyecto.

En cuanto a Gropius fue un arquitecto que amaba el arte, precursor del deconstructivismo y fundador de la Bauhaus. Donde los maestros eran escogidos por el mismo Gropius y a excepción de un escultor todos eran pintores. Y evidentemente los alumnos no recibían clases sobre Sistemas Estructurales.

“Con excepción del escultor Gerhard Marcos, fueron pintores los que Gropius reunió como maestros para su institución. Gropius partió del hecho de que la pintura, desde el comienzo del siglo, había asumido la función de guía entre las demás artes y creado una nueva estética que habría de regir los principios de configuración de la arquitectura venidera. [...] Las admisiones de nuevos maestros se trataban en el consejo de docencia, pero la decisión última quedaba siempre en manos de Gropius. Ésta no respondía en absoluto al juicio general de la crítica de arte. [...] Gropius, por el contrario, convocó a representantes de la pintura abstracta y cubista, porque en ella veía en acción aquel constructivismo que condujo a la nueva arquitectura. [...] En las clases los maestros enseñaban a los alumnos sólo su propia letra manuscrita y les suministraban experiencias prácticas. En la Bauhaus la formación gravitatoria era sobre la “base objetiva de los elementos formales y cromáticos”.⁹



Imagen 12. Edificio de la Bauhaus.



Imagen 13. Estación de bomberos en Vitra

Lo que trajo como resultado que para el siglo XXI existieran arquitectos como Zaha Hadid, quien a pesar de tener una gran habilidad en la creación de esculturas, con una gran carga estética en el juego del volumen, olvida las partes funcionales de la arquitectura y por su puesto la parte tecnoconstructiva, dejando estos temas al ingeniero quién se enfrente a nuestros caprichos formales carentes de sentido constructivo. Y aunque afortunadamente si existen ingenieros capaces de atender las demandas formales del arquitecto, es a costos muy elevados que por lo menos México no tiene para invertir en este tipo de arquitectura caprichosa, que termina siendo más una escultura que arquitectura.

Por todo lo anterior, muchos arquitectos creen ser artistas olvidando que la arquitectura está hecha al servicio de la sociedad, que depende de un sin fin de factores como lo son el clima,

⁹ WÜRTEMBERGISHER KUNSTEVEREIN, “La Bauhaus”, Editorial Instituto de Relaciones culturales con el exterior, Stuttgart 1976. pág. 9

el gusto del cliente, el uso, el terreno, el presupuesto, las posibilidades tecnocostrucitvas y por tales motivos no puede ser considerada un arte, ya que en mi opinión el arte es una expresión humana capaz de transmitir emociones del artista al espectador donde su principal característica es la libertad del artista. Abriendo una brecha mayor entre los arquitectos y las estructuras, dejando este campo a la ingeniería civil.

Con lo anterior no pretendo que el arquitecto deje de buscar una expresión formal y se desenvuelva en formas extravagantes, sino por el contrario darle las armas tecnocostrucivas con una lógica estructural para poder realizar en conjunto la estructura de sus proyectos. Evitando problemas tecnocostrucivos futuros y por su puesto también funcionales, haciendo una invitación a todos los diseñadores de la Arquitectura a no olvidar que estamos al servicio de la sociedad y que tenemos que realizar nuestra profesión de una manera integral.

1.3 JUSTIFICACIÓN:

Ya que, el verdadero problema no es quién haga qué, el problema es que este acto ha dado como resultado una fragmentación entre el espacio formal y conceptos tecnológicos, cuestión que no debiese existir, pues el arquitecto debe conocer la lógica de los sistemas estructurales y su funcionamiento para poder configurar el espacio que desea, teniendo conocimiento de proporción, ritmo, lenguaje, secuencias espaciales, tecnología, técnica constructiva, administración, economía y sociología, pues es él quien define el edificio, y por tanto la estructura. Debido a que:

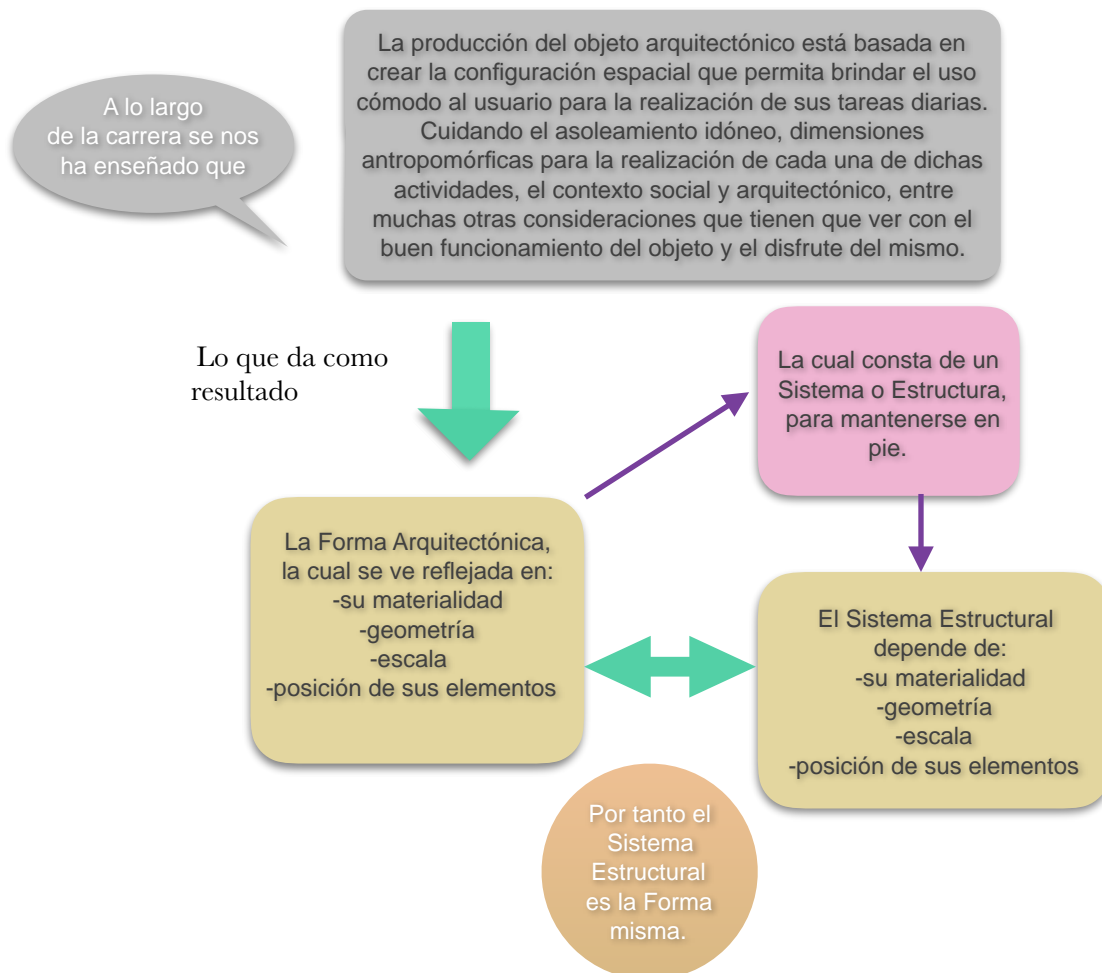
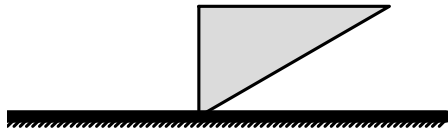


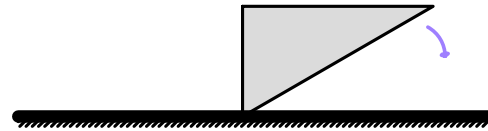
Gráfico 1. Esquema del diseño estructural, el arquitectónico y sus partes.

Y si se pretende abordar de forma separada siempre habrá complicaciones posteriores al momento de pretender que funcionen de forma conjunta.

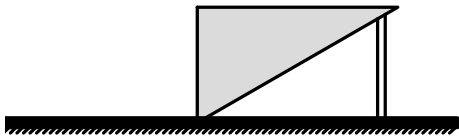
Ejemplo:



Si el Arquitecto propone esto.



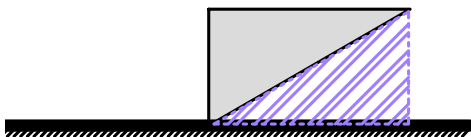
Está claro que el edificio tenderá a voltearse en este sentido.



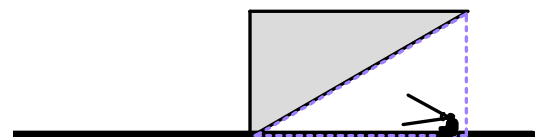
Y muy seguramente el Ingeniero propondrá algo como esto.



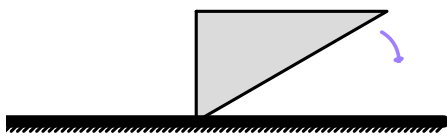
Pensando que lo que el Arquitecto quería lograr era esto.



Pero lo que el Ingeniero no notó es que lo que el Arquitecto buscaba era esto.



Pues es aquí donde el usuario disfruta del espacio, del asombro del volado y la gran boca del edificio.



Y si el Arquitecto hubiera tomado en cuenta esto desde un principio.



Quizá entonces hubiera propuesto algo como esto.

Es evidente que lo anterior es un ejemplo muy burdo, sin embargo muestra claramente un poco de lo que pretendo que comprenda el lector. Y con ello afirmar entonces que es el arquitecto quién debe decidir el sistema estructural que indudablemente es la forma arquitectónica y para poder hacerlo es necesario que el arquitecto comprenda su funcionamiento.

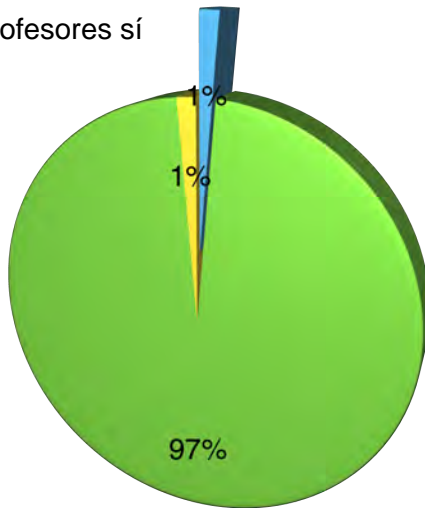
Pero a mi consideración, como ya mencioné, el problema de que los arquitectos pretendan hacer que la forma arquitectónica tenga una lógica estructural posterior a su concebimiento, se debe a que se ha pensado que la estructura es un tema que le compete al ingeniero civil, generando un desinterés por las estructuras tanto en los estudiantes como en muchos profesores, provocando una disgregación total.

Para comprobar lo anterior, realicé una encuesta a 89 alumnos de nuestra facultad¹⁰, en donde afortunadamente menos de la mitad de los alumnos encuestados consideran que el ingeniero civil es quien deba realizar esta labor; como se muestra a continuación.

¿Crees que está de más la asignatura de S.E. en la F.A.?

Si	1
No	71
Los profesores sí	1

- Si
- No
- Los profesores sí



¿Crees que el Ing. Civil es el que debería calcular la estructura?

Si	16
No	44
A veces	9
Puede ser	2

- Si
- No
- A veces
- Puede ser

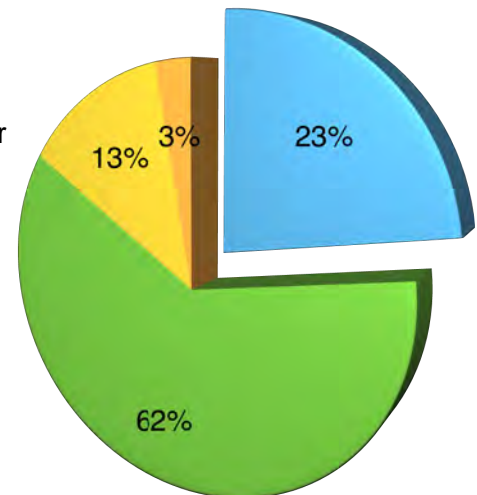


Gráfico 2. Valoración de la asignatura de Sistemas Estructurales y su aplicación, por los alumnos de la Facultad de Arquitectura.

En las gráficas anteriores también se puede observar que aunque afortunadamente casi el 100% de los alumnos encuestados consideran que es necesaria la asignatura de Sistemas Estructurales en el Plan de Estudios de la Facultad, el 23% de los alumnos encuestados opinan que es el ingeniero civil quién debiese calcular la estructura, contradiciendo su afirmación anterior. Sin embargo el resultado sigue siendo bastante óptimo, ya que el 62% de los alumnos encuestados considera que esto no debe ser así, sino que es el arquitecto quién debe calcular y diseñar la estructura puesto que es él quién está diseñando el edificio y por ende también la estructura, y un 13% considera que en algunas ocasiones si deberá ser el ingeniero civil el que calcule la estructura, como en el caso de obras muy grandes, aunque en mi opinión más bien en estos casos, no se requiere de un ingeniero civil, sino de un especialista en estructuras, y éste puede ser tanto un ingeniero civil, como un arquitecto.

Lo que realmente me preocupa es la respuesta del compañero Víctor Balzuada del taller Max Cetto, quién afirma que los profesores si consideran que está de más la asignatura de

¹⁰ Véase resumen de encuestas al final del documento.

Sistemas Estructurales en la facultad¹¹, ya que desafortunadamente comparto su opinión puesto que me ha tocado conocer algunos profesores que si lo piensan, principalmente en el área de proyectos; y es necesario recordar que los profesores tienen una gran responsabilidad frente a la formación de los alumnos pues son el ejemplo a seguir.

Y si quisiéramos que los ingenieros comprendan el ejemplo anterior, habría pues que hablarles de teoría de la arquitectura, historia de la arquitectura, composición, ritmo, lenguaje, funcionamiento de los espacios; es decir volverlos entonces arquitectos. Logrando ingenieros como Calatrava ó Barragán, grandes ingenieros que han adquirido los conocimientos anteriores, demostrando no sólo una gran habilidad para la ingeniería, sino también para la arquitectura.



Imagen 14. Turing Toroso,

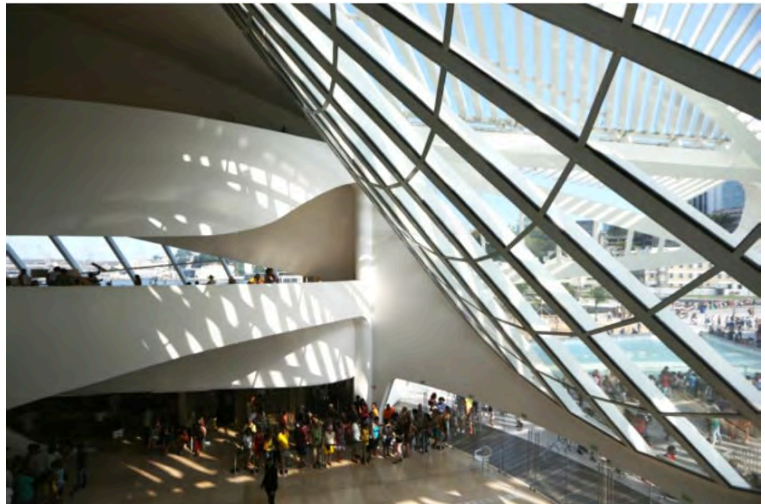


Imagen 15. Interior del Museo del Mañana en Río de Janeiro de Santiago Calatrava.

Y además algo que creo importante destacar es que ambos ingenieros son excelentes en el tema del diseño, hecho que llevo a Barragán a ser reconocido como arquitecto, siendo un gran maestro en el juego de la luz, textura y color; con la clara arquitectura mexicana de Jalisco; y que además fue el primer arquitecto mexicano que obtuvo el premio Pritzker y Calatrava con esas formas que parecen ser tan livianas pero con una gran presencia.



Imagen 16. Interior de la Casa Luis Barragán

¹¹ Ver encuesta 25 al final del documento.

Y de igual forma existen arquitectos que se han especializado tanto en su técnica constructiva y temas estructurales que incluso usan la estructura como concepto formal, tal es el caso de Foster, Rogers y Teodoro, aunque claro estos son sólo algunos ejemplos.



Imagen 17. Embajada de México en Berlín, por González de León y Serrano, 2000. Columnas dinámicas como juego de celosía en fachada.



Imagen 18. Cúpula del Reichstag en Berlín, por Foster and Partners, 1999. Costillas radiales y anillos en la circunferencia.



Imagen 19. Tribunales de justicia en Burdeos, Francia, Richard Rogers, 1998. Área de espera conformada por las columnas en planta baja.

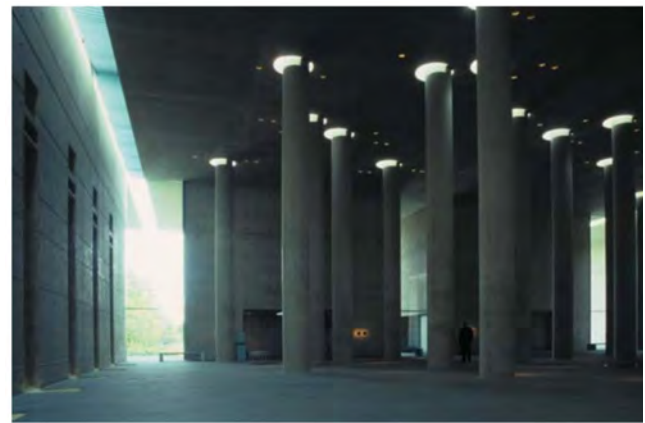


Imagen 20. Vestíbulo de la BRIT School en Inglaterra, donde las columnas son el punto de impacto visual, por Richard Branson.

Aunque claro también existen los casos contrarios que han diseñado únicamente la parte estética y funcional, y olvidan la tecno-constructiva y han tenido problemas serios en el diseño de sus edificios como es el caso de Utzon, quien apenas con unos trazos logró ganar el concurso para la ópera de Sidney, pero al no haber concebido la estructuración desde la formación del proyecto, la ejecución del edificio se demoró ocho años, generando el descontento del gobierno y fue sustituido del proyecto.

“Los extraordinarios complejos problemas de ingeniería a los que tuvo que hacer frente Utzon provocaron el retraso en la realización del proyecto, que el ingeniero había anunciado finalizar en tres años y con un coste de

tres millones de dólares australianos, cuando el edificio se concluyó quince años después de su inicio, con un coste total de 102 millones de dólares”¹².

Y a pesar que la envolvente de este edificio me fascina, eso no cambio el hecho de su despido y mal manejo del proyecto.



Imagen 21. Ópera de Sydney de Utzon.

Con los ejemplos anteriores se muestra que si se piensa en la estructura en el momento en que se está diseñando la forma, no sólo se pueden evitar muchos problemas técnico-construidos futuros, sino que además se pueden lograr resultados asombrosos. Por tal motivo, considero que si el ingeniero quiere participar en temas arquitectónicos, habrá que hacerlo desde el momento en que se comienza a concebir el proyecto; tal como lo pensaba Hardy Cross.

“La ingeniería debe marchar hombro con hombro y por sendas paralelas con la arquitectura; [...] con la verdadera arquitectura que aprecia en las obras de ingeniería funciones de servicio, juegos de masas, de luces y armonía con el paisaje. Hermanadas estas artes, pueden producir obras útiles, bellas y siempre jóvenes...”¹³

Pero a pesar de lo anterior y que es algo que la Facultad de Arquitectura al proponer el Plan de Estudios 99 tenía bastante claro, es decir que el arquitecto debe pues saber de Sistemas Estructurales, algo pasa a la hora de transmitirlo, pues muy a pesar de que el Plan de Estudios vigente que es el aprobado en el año de 1999 plantea que la Asignatura Teórica de Sistemas Estructurales I, tendrá como objetivos pedagógicos, que el estudiante :

¹²<https://es.wikiarquitectura.com/edificio/opera-de-sydney/>

¹³FOSEAS ROQUENA, FERNANDO, Prólogo de “Los Ingenieros y las Torres de Marfil”, México 1971, pág. 6

- *Comprenda la importancia que tienen las estructuras en la composición integral arquitectónica*
- *Describa la función de las estructuras y los métodos que se emplean para su planteamiento*
- *Conozca las formas estructurales empleadas eficientemente en la solución de problemas y necesidades arquitectónicas particulares, así como las más adecuadas para su construcción*
- *Y las características de las acciones (cargas) estáticas y dinámicas que influyen en las estructuras y en los efectos que ellas producen.*

Los profesores que imparten dicha asignatura no han comprendido los alcances que el plan de estudios plantea, valiéndose de la libertad de cátedra, un concepto malentendido¹⁴ del Estatuto del Personal Académico de la UNAM¹⁵, el cual refiere que la Universidad Nacional Autónoma de México, exige su autonomía y recibe el derecho de crear sus planes de estudio dando la base de lo que se ha de enseñar por los docentes, sin embargo se ha mal entendido, pensando que el docente puede dar la clase a su “libertad de cátedra” haciendo a un lado el plan de estudios, enseñando lo que a su criterio es conveniente (y peor aún poner a estudiantes enseñarle a estudiantes, con la típica clase donde todos pasan a exponer y el profesor se sienta a observar, ya que si el maestro no tiene idea de lo que debe transmitir, el alumno menos). Todo esto sin tomar en cuenta que el objetivo clave es ayudar al entendimiento de la lógica de los sistemas estructurales, para así poder aplicarlos y además entenderlos en términos numéricos.

En la encuesta realizada, también se muestra que a pesar de que al 90% de los encuestados les gustan los Sistemas Estructurales, y el 100% de ellos consideran que es fundamental su enseñanza de esta asignatura en la carrera, algo pasa a la hora del aprendizaje.

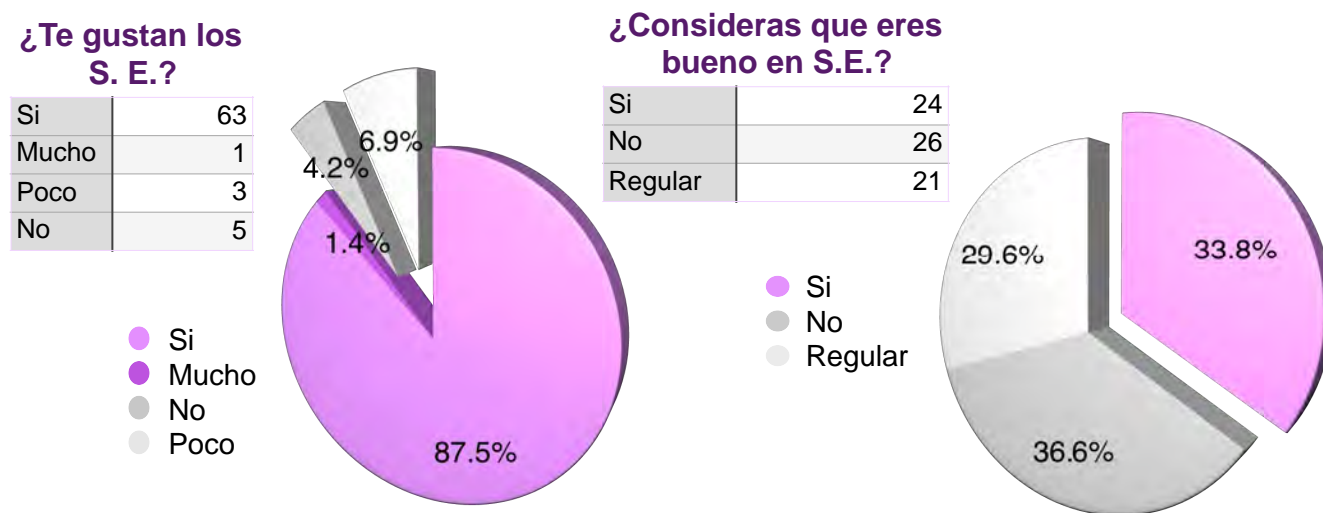


Gráfico 3. Gráficas de gusto y habilidades respecto a Sistemas Estructurales, de los alumnos de la Facultad de Arquitectura.

¹⁴TAMAYO, MENDIOLA Y FORTOUL, “Libertad de cátedra: ¿una libertad mal entendida? <http://riem.facmed.unam.mx/node/429>, fecha de consulta junio 2017

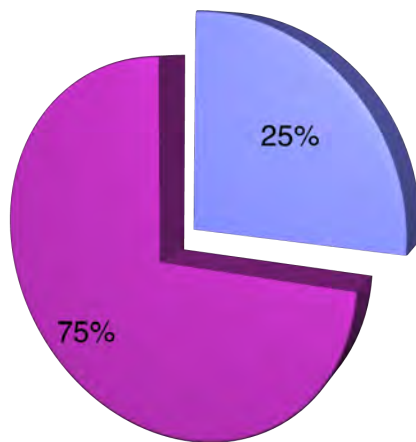
¹⁵ CONSEJO UNIVERSITARIO, Estatuto del Personal Académico de la UNAM, 1970. Capítulo I, Funciones y Clasificación del Personal.

En las dos gráficas anteriores se puede observar que a pesar de que a casi el 90% de los alumnos encuestados les gustan los Sistemas Estructurales, solamente un 34% de los encuestados considera ser bueno o tener habilidad para las estructuras, por lo que más del 60% de los que les gustan las estructuras se les complica el aprendizaje en el campo, muy a pesar de su gusto por ellas. Esto se debe a la metodología de enseñanza empleada en la facultad, donde muchos de los profesores no siguen el plan de estudios y se pierde la continuidad entre un módulo y otro; hecho que ocurre sobre todo en Sistemas Estructurales I y Sistemas Estructurales II, como se muestra a continuación.

¿Has recurrido algunas de las materias de S.E.?

Si	18
No	55

- Si
- No



¿Cuál?

S.E. I	1
S.E. II	6
S.E. III	10
S.E. IV	3
S.E. V	1
S.E. VI	0

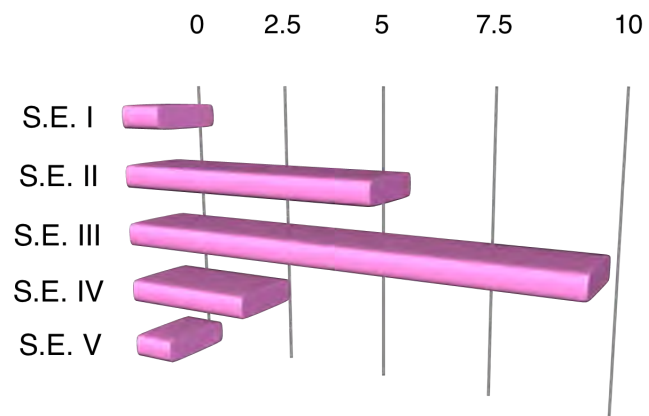


Gráfico 4. Gráficas con el índice de reprobación de Sistemas Estructurales, de los alumnos de la Facultad de Arquitectura.

En las gráficas anteriores se puede apreciar que en el módulo de sistemas estructurales I la gran mayoría de los estudiantes aprueban sin haber aprendido y al llegar a Sistemas Estructurales II, reprueban porque no han entendido la lógica del sistema, y posteriormente reprueban Sistemas Estructurales III, porque como no han entendido la lógica del sistema, no se puede introducir al cálculo, como lo menciona Eduardo Torroja.

“Es un error demasiado corriente empezar a calcular la viga número 1 sin haber antes meditado si la construcción debe llevar vigas o no.”¹⁶

Y si a ello le sumamos el mal concebimiento de muchos profesores y talleres que le hacen creer al estudiante que el Taller de Arquitectura está por encima del resto de las materias, pensamiento producido bajo la ideología del arquitecto proyectista, como se mostró en las primeras dos gráficas (ver gráfico 5), nunca lograremos que el alumno comprenda que para poder

¹⁶Torroja Miret, Eduardo. *“Razón y ser de los tipos estructurales”*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. pág. 2

ser buenos en Taller de Arquitectura primero deben ser buenos en el resto de los componentes de la carrera. Lo cual se muestra con la siguiente gráfica.

¿Consideras que en la F.A. se imparten de manera adecuada las asignaturas de S.E.?

Si	15
No	44
A veces	3
Regular	11

● Si ● No
● A veces ● Regular

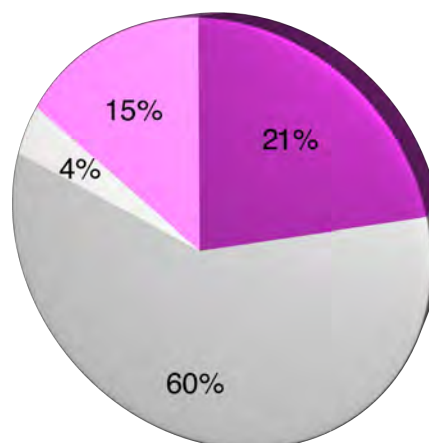


Gráfico 5. Enseñanza de las estructuras en la Facultad de Arquitectura.

En la gráfica anterior se muestra que más de la mitad de los alumnos encuestados consideran que la enseñanza de las estructuras en la carrera no es la adecuada, debido a que muchos maestros no siguen el plan de estudios, otros no tienen las habilidades pedagógicas, para enseñar; las horas no son suficientes para explicar de manera adecuada el temario y darle la profundidad y detalle que la signatura merece, y sobre todo los temas revisados en Sistemas Estructurales no son aplicados en Taller de Arquitectura, asignatura que teóricamente es la ensambladora de todos los demás componentes¹⁷.

1.4 OBJETIVOS:

Eliminar la ruptura entre el diseño arquitectónico y el estructural, reforzando desde la formación del arquitecto su aprendizaje de los sistemas estructurales.

Recomendaciones:

Está claro que desde la parte de los docentes desde mi posición no puedo hacer mucho, más que brindar algunas recomendaciones como:

1. Incluir cursos pedagógicos en la formación de los docentes, ya que en la docencia a nivel licenciatura se estudia para ser cualquier otro tipo de profesión pero no la de profesor; en este caso, la formación de nuestros profesores es de arquitectos y por ello tratarán de enseñarnos de la mejor manera posible pero eso no garantizará el aprendizaje.
2. Que el nuevo Plan de Estudios incluya la actualización de Sistemas Estructurales, agregando nuevos materiales y sistemas que han surgido en los últimos años, procurando no modificar su estructura del programa ya que es la adecuada, siempre y cuando se garantice que los docentes harán uso del Plan de Estudios.

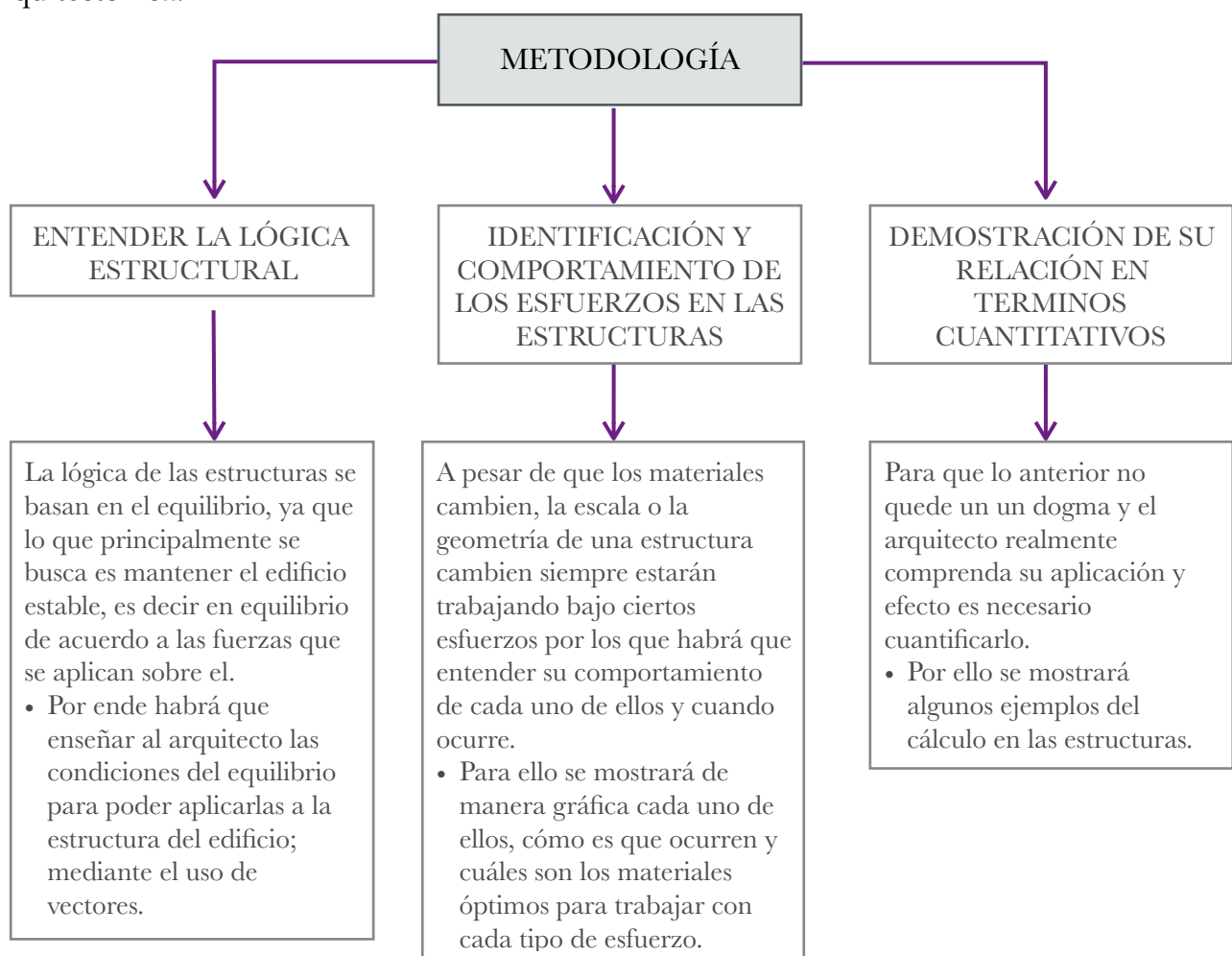
¹⁷ Ver resumen de encuestas al final del documento.

3. Qué la asignatura de Sistemas Estructurales tenga una mayor carga horaria para poder profundizar en el temario y explicar con la paciencia que la mayor parte de los estudiantes de esta asignatura requieren.
4. Que se incluya un propedéutico de física principalmente del uso de vectores.
5. La aplicación de esta asignatura en el taller de proyectos, asegurando que por lo menos un profesor del taller domine el tema.

1.5 METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA:

Pero lo que si puedo hacer es crear un manual de apoyo para los estudiantes con las siguientes estrategias:

- Entender la lógica estructural=forma arquitectónica, mostrando el comportamiento de sus elementos en un esquema estructural=forma arquitectónica.
- Identificación y comportamiento de los criterios básicos (en términos estructurales), que el arquitecto debe conocer antes y durante el diseño de un edificio.
- Demostración de su relación en términos cuantitativos, definiendo un edificio sin tener consideraciones estructurales previas, mostrando su comportamiento estructural, seguido de la estabilización y optimización del sistema mediante la modificación de la forma arquitectónica.



2.Sistema Estructural

Todo en el universo tiene una estructura, y se refiere a todo un conjunto que no podemos disociar por tanto la estructura de un edificio no puede verse de otra forma que como un sistema.

Este capítulo tiene como objetivos:

- que el proyectista comprenda la importancia de visualizar un sistema estructural o esquema compositivo simultáneo al desarrollo del proyecto.
- que el arquitecto comprenda la relación de la estructura con la forma del edificio.
- guiar al lector en la búsqueda del sistema constructivo o estructural acorde a el proyecto, así como brindar mayor habilidad en la elección óptima de sus materiales y geometría en cada uno de los elementos del sistema, potenciando sus propiedades físico-mecánicas de cada uno de ellos; comprendiendo el esfuerzo al que serán sometidos.

2.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA ESTRUCTURAL?

Muchas veces pareciera un poco simplista entender un juego de palabras tomando el significado de cada una de ellas, para así encontrar el nuevo significado, pero en mi opinión, creo que es la forma más acertada de hacerlo, puesto que quien creo dicha oración o junto tales conceptos, tenía la intención de que quedase sumamente claro su significado; por tanto primero que nada para abordar este tema, me preguntaré ¿qué es un sistema? Y ¿qué es la estructura?

De acuerdo a la Academia Mexicana de la lengua, estructura es la: *“Forma en que se organizan y se relacionan las partes de un todo, o bien el Armazón que sostiene las diferentes partes de un todo.”*¹

Y un sistema, *“es un módulo ordenado de elementos que se encuentran interrelacionados y que interactúan entre sí...”*²

Por tanto un sistema estructural sería, un conjunto de elementos ordenados que se relacionan entre sí y forman parte de un todo. Mientras que algunos que hablan del tema en un lenguaje constructivo, lo refieren como “La unión estable de elementos diseñados para que funcionen como una unidad que soporta y transmite al terreno las cargas correspondientes, de una forma segura y sin exceder la resistencia de cada uno de los elementos”. (Ching, p2)

O bien *“Es el conjunto de elementos resistentes, convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo efectos de las cargas y apoyos manteniendo el espacio arquitectónico, sin sufrir deformaciones incompatibles”*³

¹Academia Mexicana de la Lengua, <http://www.academia.org.mx/>

²2008, Definición de sistema por Pérez Porto Julián, Definicion.de, obtenido 11,2016 de <http://definicion.de/sistema/#ixzz31CPimzLu>

³ A. 2012,12. definición de estructuras,Revista [ARHYS.com](http://www.arqhys.com), obtenido 11,2016 de <http://www.arqhys.com/casas/estructuras-definicion.html>.

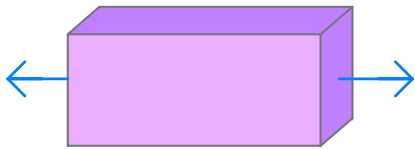
Qué lo determina o condiciona

De acuerdo a lo anterior el sistema estructural es todo elemento que se interrelacionan para darle soporte al edificio, y transmitir sus cargas, por lo que debe ser rígida, es decir que no sufra deformaciones al aplicarle una fuerza, estable para que no se voltee al aplicarle una fuerza horizontal o se desplace y resistente para poder resistir al esfuerzo al que será sometido sin romperse.

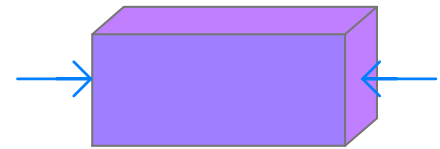
Por ello sus elementos deberán conformarse por materiales rígidos que posean gran tenacidad o resistencia para el tipo de esfuerzo al que estará sometido, con forma que beneficie el esfuerzo que elemento estará realizando al aplicarse una fuerza, aprovechando las propiedades de sus materiales aumentando su rigidez. Y finalmente el sistema deberá poseer una geometría tal que pueda mantener su estabilidad, por medio de la lógica del equilibrio y situando su centro de gravedad lo más abajo posible, cayendo dentro de la base, y aportando una base más grande que el resto del sistema.

2.2 TIPO DE ESFUERZOS QUE DEBE SOPORTAR UNA ESTRUCTURA

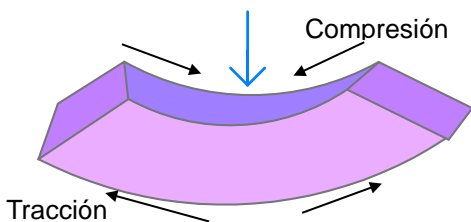
La estructura se ve sometida a distintos esfuerzos dependiendo la forma en que se le aplique una o más fuerzas, ya que de acuerdo a la 3ra ley de Newton “a toda acción corresponde una reacción”, y dichos esfuerzos serán entonces las reacciones de de las fuerzas aplicadas en cada uno de sus elementos.



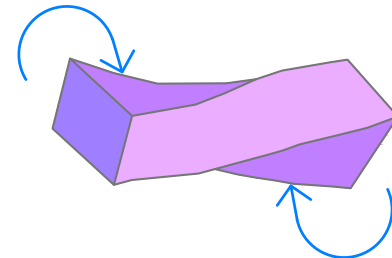
Tracción, son aquellos esfuerzos actuantes en dirección contraria, haciendo que el elemento se alargue o estire.



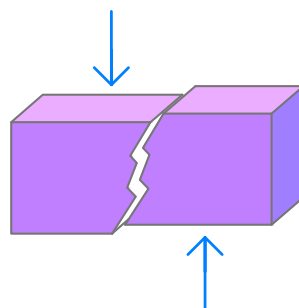
Compresión, son los esfuerzos resultantes al aplicar dos fuerzas concéntricas sobre un elemento haciendo que se comprima.



Flexión, es el resultado de de una fuerza puntual perpendicular al elemento provocando su pandeo, a lo que se le conoce como flecharse.



Torsión, se refiere cuando dos fuerzas contrarias tienden a hacer girar el elemento o torcerlo.



Cortante, es el resultado de dos fuerzas con direcciones contrarias en el mismo sentido, actuando sobre el elemento y tienen a cortarlo o desgarrarlo.

2.3 ELECCIÓN DE LA FORMA Y SU MATERIALIDAD

El tipo de material usado en la estructura define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad y muchas otras características de la estructura. Entre los materiales más comunes están el hormigón, acero, madera, piedra, unidades de arcilla cocida y plástico.

“El avance en el conocimiento de las propiedades de los materiales nos permite que nuestro análisis se acerque mas a la realidad, y es parte de nuestra labor seleccionar adecuadamente los materiales para lograr que nuestra estructura sea segura, económica y factible. Por tanto el seleccionar cada material presupone un buen conocimiento de las propiedades mecánicas del material elegido.”⁴

Hay que tomar en cuenta que *“los materiales en cada sistema, pueden cambiar, pero siempre se aplicaran los principios básicos”* (T.Y. LIN., p.6) Y estarán trabajando a tracción, compresión, flexión, torsión o cortante, pero evidentemente cada material trabaja mejor a cada uno de estos esfuerzos debido a sus características físico-mecánicas.

La Piedra y todo tipo de mampostería

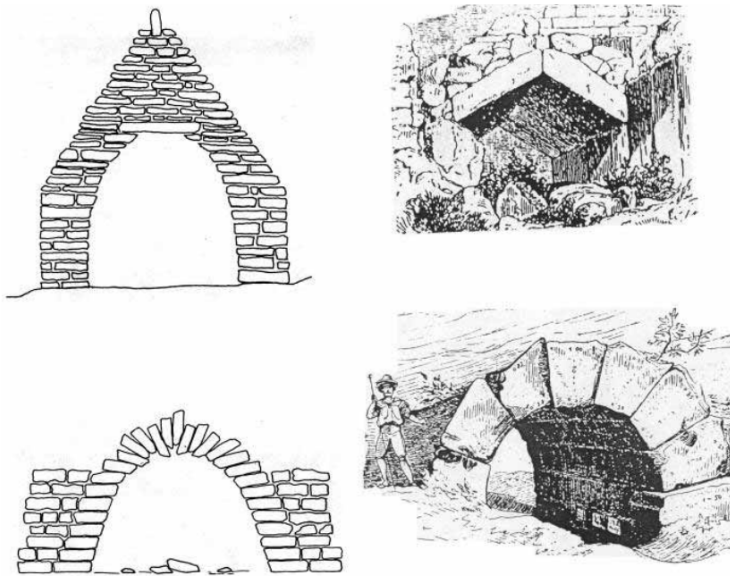


Imagen 1. Arcos en la antigüedad. Imagen obtenida del libro *Mecánica de las bóvedas de fábrica* por Santiago Huerta.

La piedra desde el inicio de nuestros tiempos ha sido uno de los materiales más tradicionales en la construcción, junto con la madera. Su gran efectividad resulta gracias a su economía, a su rigidez y resistencia a compresión; pero dicha rigidez no le permite trabajar a esfuerzos de tracción o flexión pues terminaría por cortarse.

Por lo tanto su utilización aprovecha al máximo la transmisión de esfuerzos por su geometría logrando un equilibrio perfecto y con ello evitar esfuerzos de cortante y flexión. Por lo que la aplicación en formas como el arco, la bóveda, la cúpula, el paraboloide, el funicular, platabandas y muros han sido el éxito del material.

Por ejemplo, en un arco el acomodo de sus dovelas están puestas de tal manera que cada una de ellas transmita su esfuerzo a la siguiente, siguiendo las leyes del equilibrio, por lo que se dice que *“Un arco no es otra cosa que una fortaleza formada por debilidades”* (da Vinci). Hooke decía que para que un arco permaneciera en equilibrio debía de poseer una catenaria en su interior como línea de empuje, es decir su equilibrio debía seguir las leyes de la naturaleza, ya que si al colocar una cadena (catenaria) soportada por ambos extremos, la misma cadena buscaría su equilibrio, y si lo invertimos sería entonces el acomodo perfecto de cada una de las dovelas, en este caso de

⁴<http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm>

los eslabones de la cadena, para entonces evitar que el arco colapse. Teoría que Heyman profundizó y adoptó y que además Gaudí aplicó a cada una de sus obras. Gaudí tomaba fotografías de la forma de los arcos, formados por los hilos, y así calculaba la inclinación de las columnas y arcos de la construcción real.

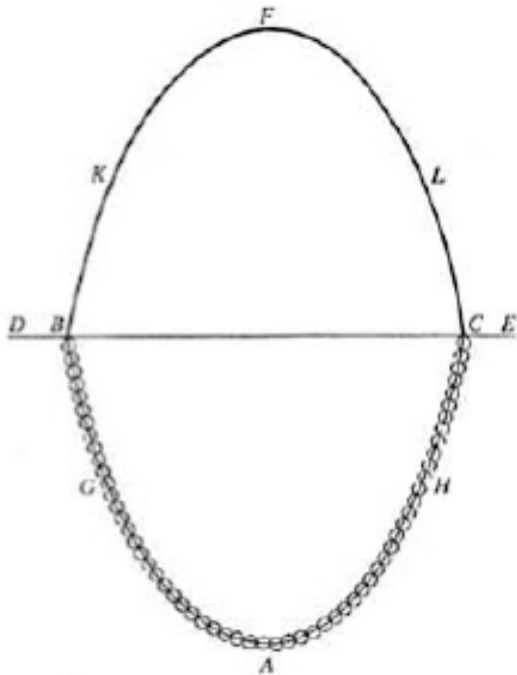


Imagen 2. Idea de Hooke, sobre la analogía entre un arco y una catenaria.

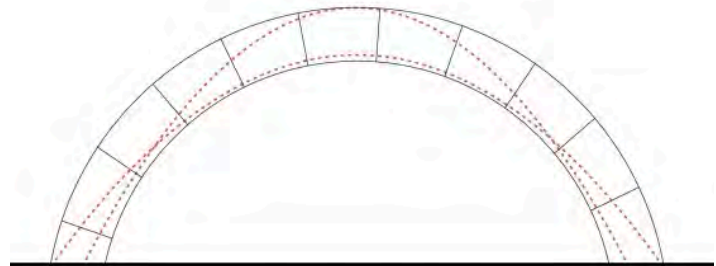


Imagen 3. Líneas de empuje máxima y mínima en un arco.

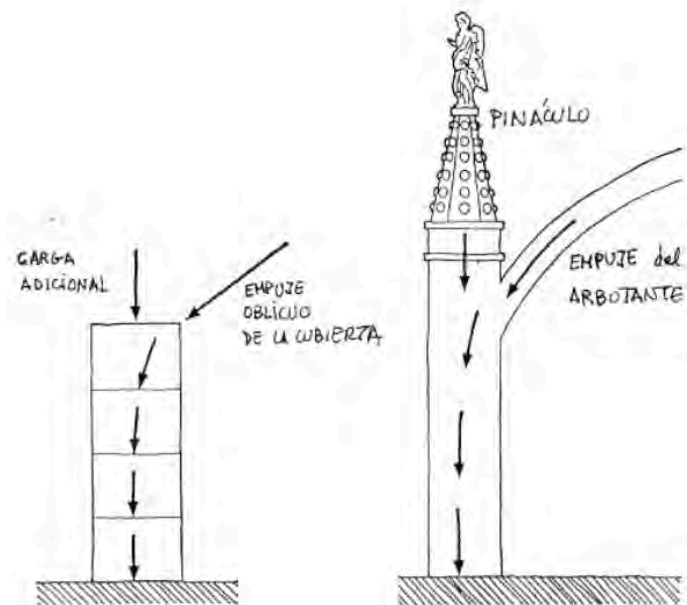


Imagen 4. Teoría del equilibrio en arbotantes.

Por lo que “*las estructuras de mampostería no fallan por resistencia sino por estabilidad, es decir hubo un desplazamiento en sus componentes*” (Santiago Huerta), por lo que se modificó su línea de empuje, alterando su equilibrio y provocando un colapso natural. Y lo mismo aplica para todos los elementos de mampostería como lo son el concreto, el adobe, la arcilla recocida y cualquier tipo de piedra, ya sea ígnea metamórficas o sedimentarias.

A continuación se muestra una maqueta recreada de la que Gaudí utilizó para estudiar la estructura del proyecto de la iglesia de la Colonia Güell de Barcelona. Sistema que también empleo para la Sagrada Familia y que Fray Otto también está adoptando (ver imagen 5).

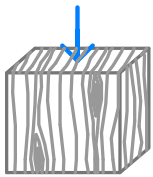


Imagen 5. Maqueta polifuncional. Recreación de la maqueta de Gaudí de la iglesia de Güell.

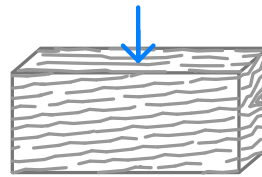
Madera

La madera al igual que la piedra es un material que se ha utilizado desde la antigüedad, es considerada cronológicamente como el primer material capaz de resistir por igual a tracción y a compresión según la dirección de sus fibras. Su comportamiento es relativamente frágil en tensión y aceptablemente dúctil en compresión, en que la falla se debe al pandeo progresivo de las fibras que proporcionan la resistencia. Su resistencia es notablemente mayor en la dirección de las fibras que en las ortogonales de ésta. lo que lo caracteriza como un material anisotrópico, es decir que sus propiedades mecánicas van en función de sus betas.⁵

- Compresión



Se usa en pilares, entramados y pares de cubiertas. Resistencia de 16 a 23 N/mm²

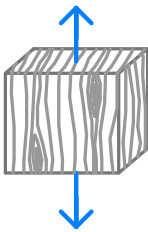


Es característico de zonas de apoyo en vigas. Resistencia de 4.3 a 5.7 N/mm²

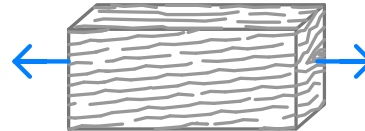
Paralela a la fibra

Perpendicular a la fibra

- Tracción



Se usa en arcos, vigas curvas y zonas de vortice. Resistencia de 0.3 a 0.4 N/mm²



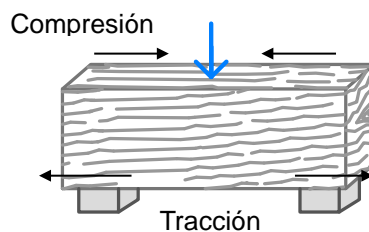
En tirantes y montantes de las armaduras. Resistencia de 8 a 18 N/mm²

Perpendicular a la fibra

Paralela a la fibra

“Las tensiones a tracción se pueden producir como consecuencia de la coacción del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas fácilmente con el condimento del material”⁶.

- Flexión



Comunes en vigas, viguetas de forjado y pares de cubiertas. Resistencia de 14 a 30 N/mm²

⁵De cimientos a techumbres: 10 soluciones constructivas en madera en 3D y 2D, <http://www.arqhys.com/construccion/madera-caracteristicas.html>

⁶ ibid, ref 5.

Algo que es fundamental poner atención al trabajar con la madera es en sus conexiones ya que de no llevarlas de la manera adecuada se puede debilitar el material haciendo que falle por cortante, abriendo las betas del material.

Existen muchos arquitectos que han explotado este material de una manera formidable, considerándolo no sólo como un acabado como comúnmente se usa en la actualidad, sino como un material estructural como es el caso de Jüguer Mayer H. quien hizo el Metropol Parasol en Sevilla, Toyo Ito, Shigeru Ban, entre otros.

Sin embargo las principales desventajas de emplear este material es la explotación de los recursos naturales, con una deforestación masiva, y su poca durabilidad ante la humedad de la intemperie.



Imagen 6. Estructura de madera.

El acero

El acero se popularizó durante la revolución industrial, y en la arquitectura tuvo un gran auge ya que facilitó e hizo posible la realización de grandes obras, librando grandes claros y haciendo edificios cada vez más altos en tiempos más cortos.

Resulta ser ligeramente elástico y dúctil, lo que le permite trabajar a esfuerzos de tracción, flexión, o torsión, siempre y cuando no se exceda su límite de elasticidad.

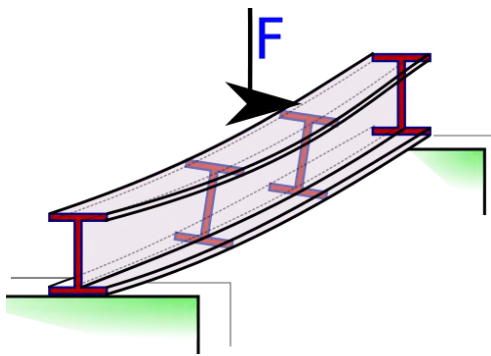


Imagen 7. Flexión del acero.

Su resistencia a cortante poco menor que las resistencias a tracción o compresión, el espesor del alampen las piezas en flexión, puede disminuirse; y éstas adoptan la sección típica en I, o en C para formar perfiles compuestos, ya que las secciones cerradas o tubulares no se presentan bien a la fabricación por simple laminación. Además que como la resistencia del material es muy alta, las piezas pueden ser muy esbeltas; y, tanto para darles la mayor rigidez posible con el mínimo de masa, como para facilitar los enlaces, se adoptan también las formas en T y Z.⁷

Se le acusa de tener una gran desventaja en cuanto a costos, ya que es un material excesivamente costoso para la industria de la construcción, sin embargo si comparamos el ahorro en mano de obra y tiempo de producción u coeficiente de dilatación térmica es tan elevado que es apreciable casi a simple vista; pero no es en su dilatación donde más afecta la temperatura a este material pétreo, sino que muy probablemente también sea uno de los principales factores de falla por rotura frágil; aunque también podría deberse a otros factores, tales como su composición metalográfica, rapidez de la puesta en tensión, pero sobre todo exposición a esfuerzos de equitración.

⁷ Razón y ser de los tipos de sistemas estructurales, p. 51

Concreto Armado

El concreto armado es un material formidable que combina la plasticidad y ductilidad del acero para soportar esfuerzos a flexión, así como la masa y rigidez del concreto para soportar esfuerzos a compresión, siendo muy similar a la madre pero con resistencias muchísimo más elevadas, por lo que Torroja afirma que este es el material más técnico de todos y el único al que verdaderamente puede aplicarse el título de material “adecuado-resistente”.

El trabajo conjunto va confiado a la adherencia (incluida en ella el rozamiento entre el concreto y el acero), motivo por el cual el acero viene dispuesto en varillas roscadas, nervaduras que impiden el deslizamiento del concreto, quedando asegurada la transmisión de esfuerzos, además de que la impermeabilidad del concreto y la alcalinidad de su interior, casi aseguran la inoxidabilidad del acero.

Por todo lo anterior es que el concreto armado ha sido utilizado durante casi todo el siglo XX y XXI en la industria de la construcción.

2.4 EL EFECTO DE LA ESCALA

Galileo Galilei decía que si comparáramos los huesos de un pájaro con los grandes huesos de un dinosaurio, podríamos notar la importancia de la escala y su proporción en ella. Sin embargo, a pesar de que Galileo fue un gran científico, astrónomo, que fue el pionero en la mecánica y el movimiento, esta vez no estaba del todo en lo correcto, sin embargo dio pie al inicio de la ciencia experimental, comprobando que la Tierra gira al rededor del Sol; y es con esta enseñanza con la que nos quedaremos, con la demostración.

Ahora bien, si la teoría de Galileo de que al aumentar la escala de un objeto éste debe conservar su proporción fuese del todo cierta, entonces al aplicarla en la cúpula de Florencia con la de Caprarola, el espesor de la cúpula de Florencia tendría que ser tres veces más grande y sin embargo está demostrado que no es así, y este mismo error aplica al considerar recetas que no siempre son aplicables como el decir que el espesor de una viga es una décima parte del claro.

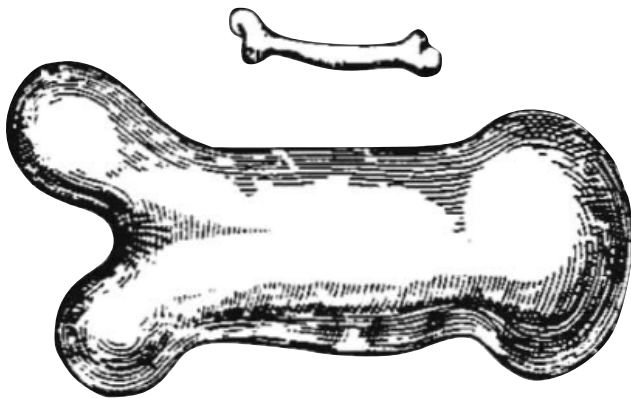


Imagen 8. Demostración del efecto de la escala, según Galilei.

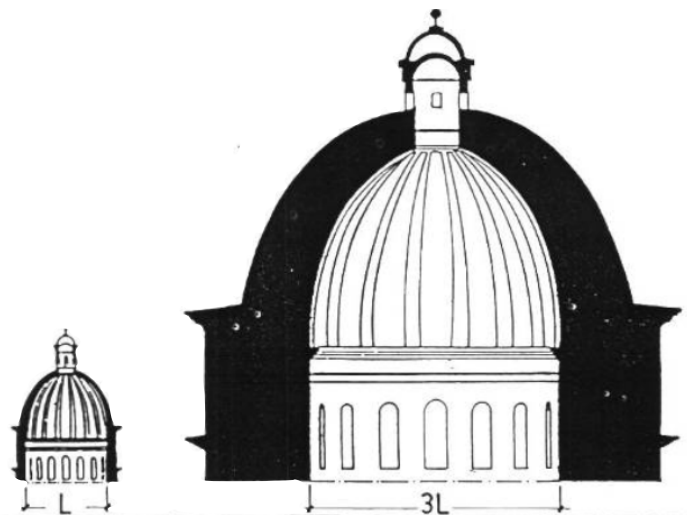
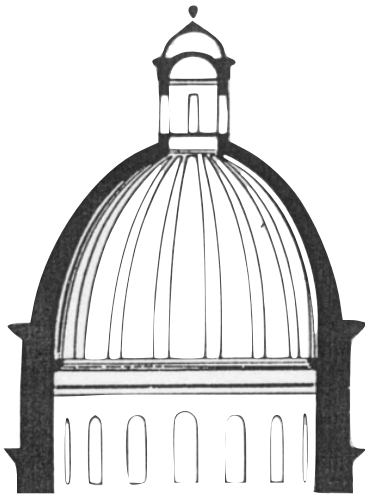
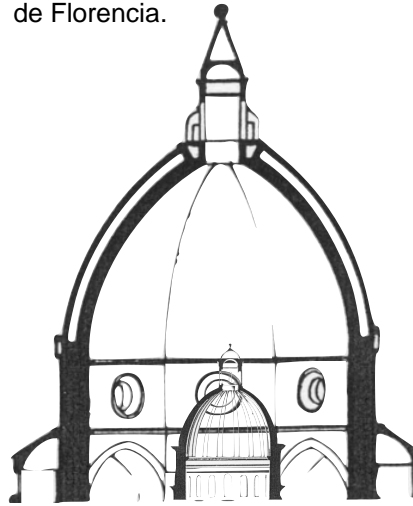


Imagen 9. Aplicación de la Teoría del efecto de la escala de Galilei en la Arquitectura.

Cúpula de la Iglesia de la Consolidación, por Alberti en Cola de Caprarola con 15m de diámetro.



Comparativa de escala entre la cúpula de Florencia y la de Caprarola, en la imagen se puede observar cómo es que la cúpula de Caprola cabe tres veces en la de Florencia.



Cúpula de la Iglesia Santa Ma. de Fiori, por Brunelleschi en Florencia Italia con 45m de diámetro.

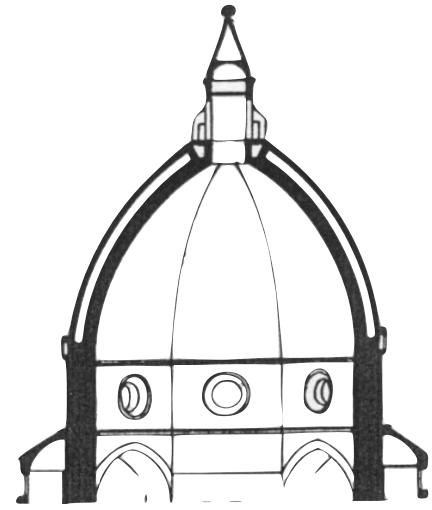


Imagen 10.El efecto de la escala, aplicado a las cúpulas.

Por ejemplo, si tuviéramos una viga de 10m de claro, tendría un peralte de 10cm, pero si el claro fuera de 100m la viga incrementaría 10 veces su tamaño, teniendo una viga de 1m de peralte, pero además también aumentaría 10 veces su espesor y con ello 100 veces su masa y peso⁸, siendo esto nada costeable y poco conveniente ser construido, pero si consideramos no solo la escala en relación a la proporción de masas, sino que también consideramos el material, su resistencia y a que tipo de esfuerzos es factible someterlo y su geometría, podemos entonces dar soluciones más acertadas.

Es decir, si consideramos que los elementos estructurales adquieren una mayor resistencia cuando están sometidos a tensiones, podríamos eliminar material innecesario, colocando únicamente los elementos que están trabajando, logrando tener una estructura más ligera y por ende más económica, eficientando su material por medio de su forma, es entonces esta *“la esencia de las estructuras ligeras”*, haciendo factible la construcción de grandes puentes, grandes auditorios, por medio de estructuras que funcionen a tensión y compresión, creando armaduras, cascarones, tridilosas, vigas presentadas y muchas más soluciones que seguro al tener claro esta teoría podrás desarrollar.

Por ello es necesario no sólo tomar en cuenta la escala, sino también es prioritario considerar el materia y su geometría, por ello es que un pre-dimensionamiento de las estructuras nunca será suficiente, así como el cálculo estaría



Imagen 11.Golden Gate, primer puente en salvar un gran claro, con 2,7km de longitud.

⁸ The essence of Lightweight Structures, p. 14.

incompleto sin un buen diseño, que garantice la eficiencia del material y la forma, optimizando toda la estructura.

2.5 ESQUEMA COMPOSITIVO O ESTRUCTURAL

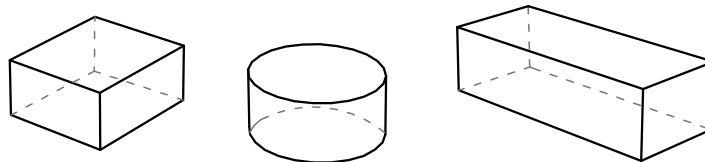
El sistema compositivo es la forma general que se decide para cada proyecto, algo similar a su zonificación teniendo una intención o partido arquitectónico, ya sea siguiendo un eje rector, como el remate de una plaza, una vista, la conexión entre dos calles, etcétera. y ello definirá la forma del edificio, por tanto su estructura.

Existen diversos esquemas compositivos, y aquí los clasificaremos en tres grupos:



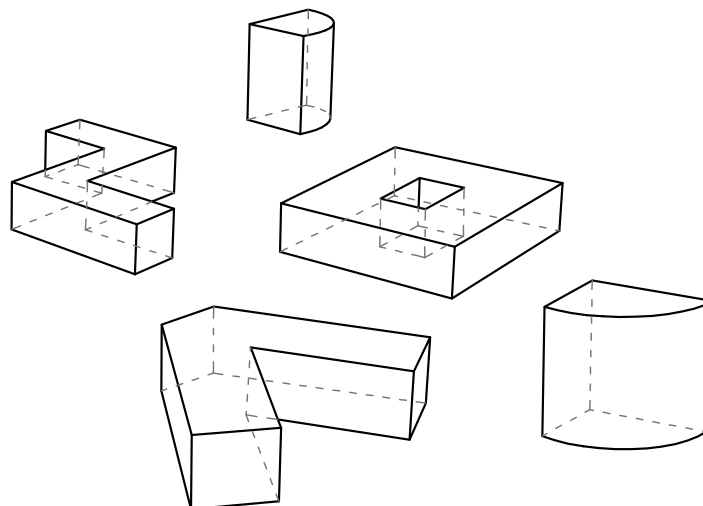
Esquemas de Forma Regular

Estos estructuralmente son los óptimos para trabajar, ya que mientras más uniforme sea la forma mayor estabilidad tendrá. Son sólidos primarios “...los cubos, los conos, las esferas, los cilindros y las pirámides son las formas más más básicas [...]; su imagen es diferenciable y tangible entre nosotros y, además sin equívoco alguno. Por esta razón son bellas, las formas más bellas...” (Le Corbusier)



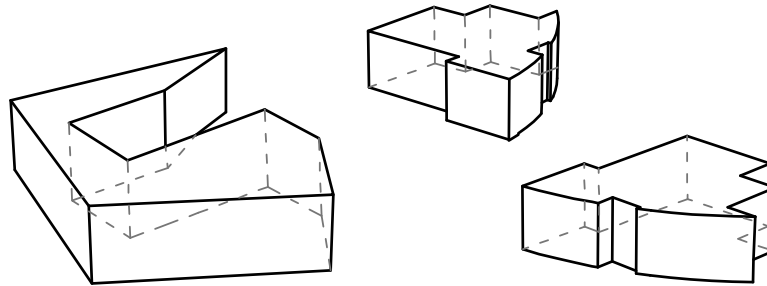
Esquema de Forma Irregular

Este tipo de esquemas son generalmente intersecciones, subtracciones o combinaciones de formas regulares, por lo que para estructurarse resulta más fácil seccionarlos obteniendo sus formas geométricas puras.



Esquema de Forma Aleatoria

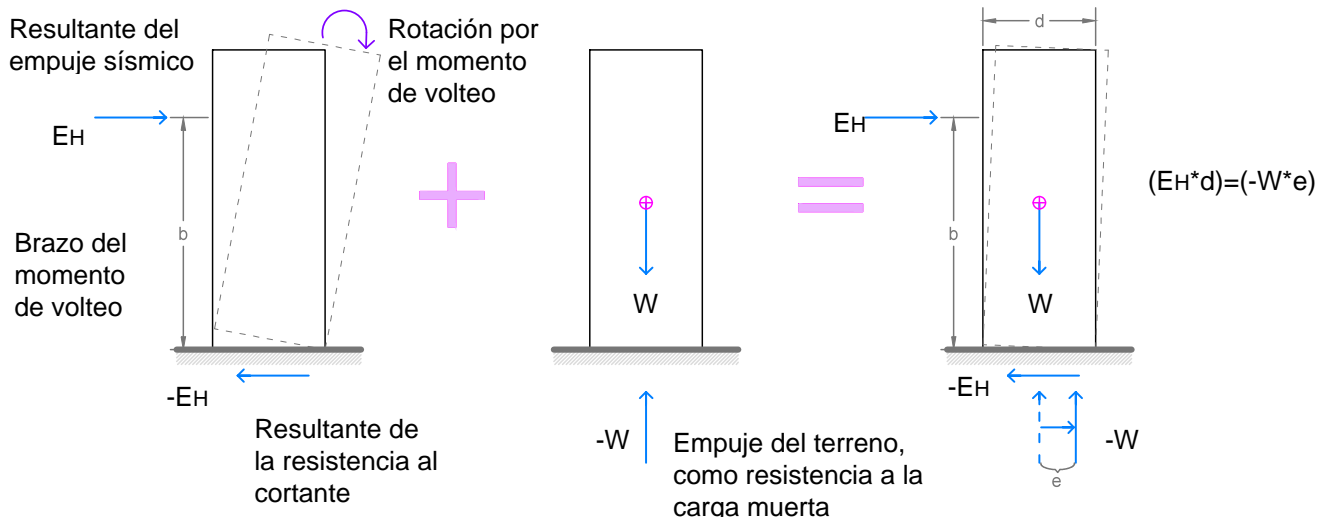
Estas formas se pudiese decir que surgen a capricho del diseñador, aunque también pueden surgir por formas irregulares del predio, o porque se tiene alguna intención en cuanto a ejes o algún otro concepto. Su forma de estructurar es un poco más complejo que los esquemas anteriores y es donde mayor cuidado habrá que tener, ya que su estructuración depende mucho del dinamismo de la forma resultante, si tiende a ser orgánica probablemente convenga realizar un cascarón, o quizá un sistema de forma activa si resulta una forma con muchos quiebres o bien un sistema de armaduras dependiendo su uso, y en estos casos es muy necesario observar su forma, equilibrando sus masas tratando de controlar su centroide de carga reduciendo su excentricidad y con ello su momento de volteo.



Edificios de gran altura

Otro punto importante a la hora de escoger el esquema es la altura del edificio, ya que a mayor altura menos estable será pues estará sujeta a un efecto mayor de cargas accidentales y del equilibrio mismo, pues tendrá mayor superficie de contacto del viento, y el empuje producido por un sismo será mayor generando un mayor brazo de palanca, provocando un péndulo en la estructura.

CARGA HORIZONTAL + CARGA VERTICAL = RESISTENCIA DE VOLTEO



2.6 ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN LOS SISTEMAS TRADICIONALES

Son los sistemas tradicionales desde que el hombre se volvió sedentario, y a pesar de que han adquirido diversas variaciones tanto en sus sistema como en su materialidad, su lógica y función ha sido la misma hasta nuestros días.

2.6.1 Elementos verticales

Son los elementos por los cuales se transmiten las cargas a los niveles inferiores o bien a la cimentación.

El Muro

Quizá el muro pueda entenderse en la prehistoria como los apoyos divisorios en las cuevas, que al evolucionar el hombre, su manera de habitar también lo hizo, creando construcciones con muros ciclópeos impenetrables, protegiéndose de los invasores que recorrían las grandes ciudades de la antigüedad.



Imagen 12. Ciudades amuralladas en la antigüedad.



Imagen 13. Ciudades amuralladas en la antigüedad.

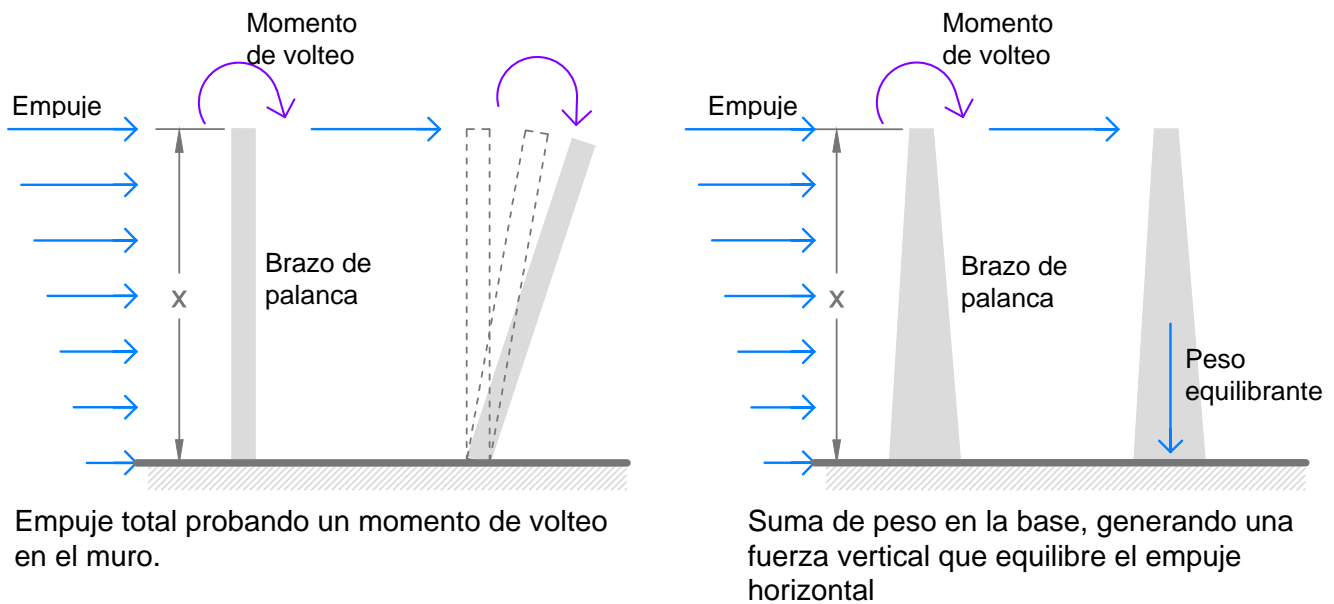
El muro clásico es un elemento continuo que resiste a la compresión simple, por lo que se recomienda que se construya de los materiales pétreos como son la piedra, el ladrillo de barro o concreto.

Los muros tienen un gran problema para soportar la flexión provocada por los empujes laterales, provocando una falla por cortante o incluso que se vuelque.

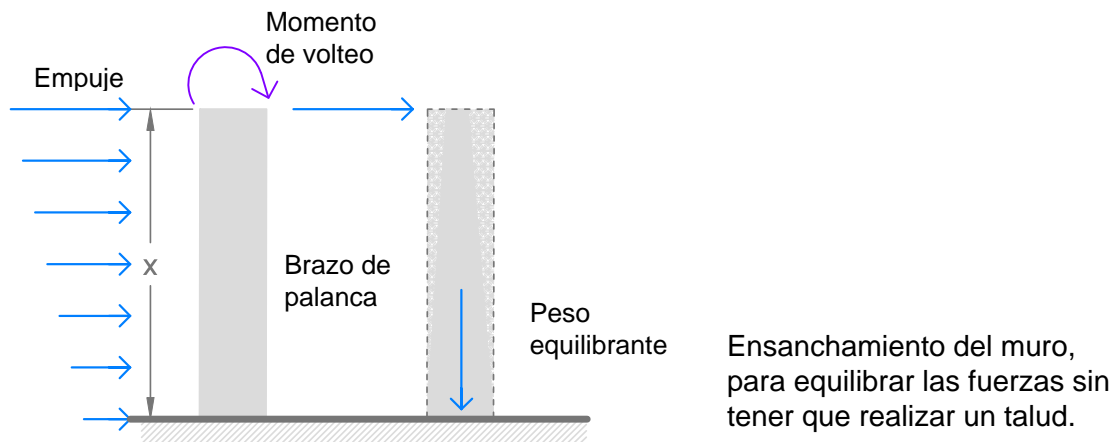
Para evitar estas fallas se requiere cierto espesor y cierto peso, buscando estabilizar su centro de gravedad del elemento, equilibrando las fuerzas que actúan sobre el, logrando que las fuerzas generadas por el peso o el espesor sea mayor que el inducido por por las fuerzas laterales.

El momento de volteo generado ocurre en el extremo superior del muro, ya que mientras más alto es el muro, mayor es su brazo de palanca y mayor será la inercia a voltearse, por lo que

la lógica estructural sugiere que el espesor vaya aumentando a manera de talud, teniendo lo más ancho en la base para así equilibrar sus fuerzas por medio del equilibrio de la masa.



Aunque en las construcciones actuales es muy complejo lograr esta sección por las exigencias estéticas y funcionales, por lo que se ha optado por emplear materiales muy pesados, aunque no resistentes a la tracción; como el cemento. O en su defecto, ensanchar todo el muro.



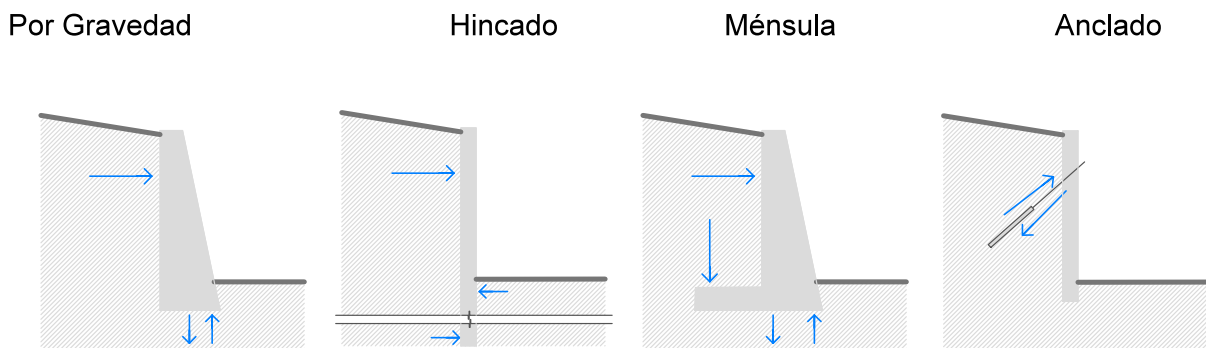
Por ende los muros deben diseñarse para cargas excéntricas y cualquier carga lateral o de otro tipo a las que estén sometidos y anclarse a los elementos que los intersectan, como pisos o cubiertas; o a columnas, pilastras, contrafuertes, de otros muros, y zapatas.

Tipos de Muros

- Muro de carga. Básicamente es el muro común, ya que en si todos los materiales están cargando, tanto su peso como el que se les aplique, pero evidentemente su grosor, su anclaje y la resistencia de su material influirá en su resistencia, tanto a la compresión como al volteo.

Por ende los muros de carga suelen estar sujetos de manera perimetral y son de materiales pesados como el concreto o el tabique.

- Muro divisorios. Son utilizados únicamente como división entre un espacio y otros pudiendo ser sólo ornamentales, por lo que únicamente se sostienen de arriba para que no se volteen.
- Muro de contención. Es un muro con mayor grosor y resistencia en su materialidad, ya que su función es recibir el empuje lateral de la tierra o lo que contenga, en algunos casos agua como en las presas. Igual que en la lógica graficada del muro, suele ser más ancho en su base y conforme asciende se adelgaza, o bien tener contrafuertes que lo refuercen. De ellos se han derivado más clasificaciones de acuerdo a su forma, la cual corresponde a la posibilidad de deslave del terreno; recomendado para terrenos blandos.



- Muro de cortante o de rigidez. Es un elemento que se comporta de una manera muy rígida lo que evita excesivos desplazamientos en su dirección más larga; colocando diafragmas para que estos resisten gran parte del cortante por planta. La eficiencia de los muros de corte para restringir las deformaciones laterales disminuye con la altura. Se puede controlar mediante una combinación adecuada de muros y pórticos, al combinar los pórticos con los muros, el muro toma una parte importante del cortante en los primeros pisos y el pórtico lo toma en los pisos superiores. Y en algunos casos caso el sismo sea muy fuerte el muro se partirá por cortante pero evitara que el resto de la estructura sea afectada.

- Muro diafragma. Este muro se encarga de hacer que la estructura trabaje como una sala, ya que se encarga de ensamblarla transmitiendo sus esfuerzos al resto de la estructura. También puede ser un muro de cortante, y absorber los esfuerzos de un sismo, sin embargo no se romperá como un muro de cortante sino que disipará este esfuerzo al resto de la estructura.

- Muros de sótano. Es básicamente un muro de contención, pero en este caso también va reforzado en la parte superior por una losa tapa, generalmente formando un cajón de cimentación aprovechado como estacionamiento, y su función igual que el de contención es contener los empujes laterales del terreno, así como el del sismo, pero además también funge como muro de carga, pues recibe la estructura de la superficie.

- Muro Pantalla o Muro Milán. El muro pantalla es un muro de contención que se construye antes de efectuar el vaciado de tierras, y transmite los esfuerzos al terreno. Estos elementos estructurales subterráneos se emplean también en forma temporal para la contención y retención de paredes.⁹ Sirve principalmente como apoyo a las cimentaciones o para contener cortes verticales en excavaciones.

Marcos

Los marcos surgen de la necesidad de abrir vanos, tanto como para crear accesos como para ventilación del espacio, surgen desde la antigüedad con 3 elementos, un dintel y dos jambas, dos elementos de apoyo en sentido vertical y uno horizontal que transmite la carga a los apoyos. Y conforme el avance tecnológico se han logrado claros más grandes, gracias a la aparición del acero y el concreto armado, volviéndose no sólo un sistema para abrir pasos en muros, sino un sistema para sustituir el muro.

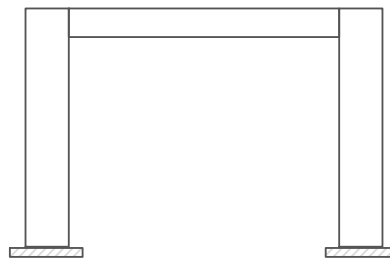
En la actualidad se les conoce como marcos rígidos, y suelen ser de materiales homogéneos, pero también existen los marcos mixtos o por sección.



Imagen 14. Templo Maya en la zona arqueológica de Tulum.

Tipos de Marcos

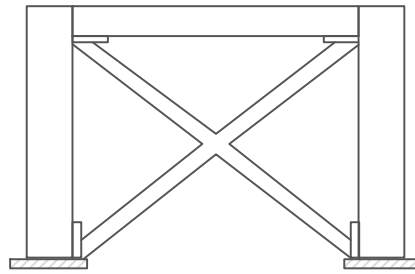
- Marcos rígidos comunes. Los marcos formados por columnas y traveses están unidos, formando uniones rígidas capaces de transmitir los elementos mecánicos en la viga sin que haya desplazamientos lineales ó angulares entre sus extremos y las columnas en que se apoya. Sobre las vigas principales, que además de resistir las cargas verticales ayudan a resistir las cargas laterales, se apoyan en algunos casos las vigas secundarias encargadas de soportar el sistema de piso.¹⁰



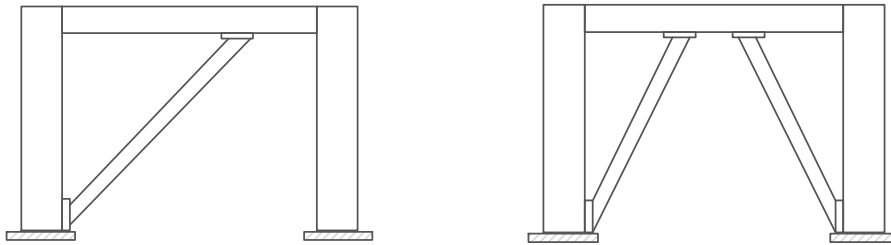
- Marcos con contraventeos concéntricos. Son marcos con tirantes que sirven como tensores que permiten una gran resistencia a tensión, además de que brindan plasticidad al marco permitiendo su movimiento sin deformarse, lo cual es sumamente conveniente en la absorción de un sismo. Un contraventeo concéntrico se caracteriza por tener un mismo centro entre sus tirantes.

⁹http://www.construmatica.com/construpedia/Muros_Pantalla

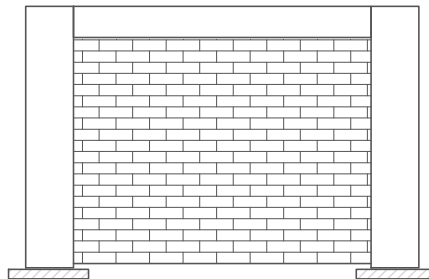
¹⁰http://www.iarquitectos.com/2010/01/marcos-rigidos-de-acero_04.html



- Marcos con contraventeos excéntricos. Este es muy similar al marco anterior pero sus contraventeos no son concéntricos, y al abrirse más permiten una mayor flexibilidad, absorbiendo aún mejor el sismo que en los marcos con contraventeos concéntricos. Un contraventeo excéntrico posee una gran rigidez elástica, un comportamiento histerético estable y una gran capacidad de disipación de energía.



- Marcos con muro diafragma o de cortante. Son marcos que por su disposición horizontal resiste



2.6.2 Elementos horizontales

Básicamente son elementos divisorios entre un nivel y otro, o el elemento de remate, los cuales le proporcionan cierta carga al edificio.

Losas y Cubiertas

Las cubiertas surgen desde la antigüedad, en el momento que el hombre decide abandonar las cuevas y fabricar las propias de manera similar, emplea el uso de muros de piedra, adobe, o bien marcos de madera, pero su cubierta por lo general era a base de troncos de madera formando una malla que recibía palma, posteriormente, con la llegada de los españoles esta palma se convierte en entablados de madera que reciben una cama de tierra y se enladrillan e impermeabilizan con jabón y alumbre, y con la llegada del concreto se sustituye todo este sistema por concreto armado, sustituyendo la maya de madera por acero.

Posteriormente surgen diversas variaciones, buscando aligerar la estructura o cubrir claros cada vez más grandes.



Imagen 15. Casa Maya

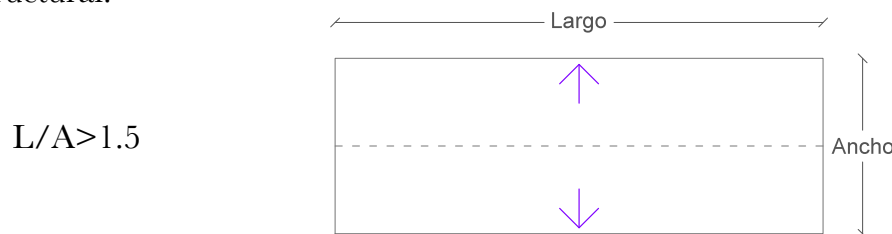
Las losas surgen por la necesidad de construir hacia arriba, optimizando el terreno ocupando un área de desplante cada vez menor; aunque en las construcciones mesoamericanas la intención era hacer construcciones más altas.

Desde ése entonces ya se utilizaban sistemas constructivos a base de piedras y explotaban al máximo la geometría del edificio logrando que cada uno de sus elementos trabajasen a compresión, eliminando los momentos y las tracciones para poder desarrollarlas en piedra. En la época de la colonia se utiliza un sistema constructivo franciscano, descrito en el sistema de cubiertas, y posteriormente también evolucionó de la misma manera que las cubiertas.

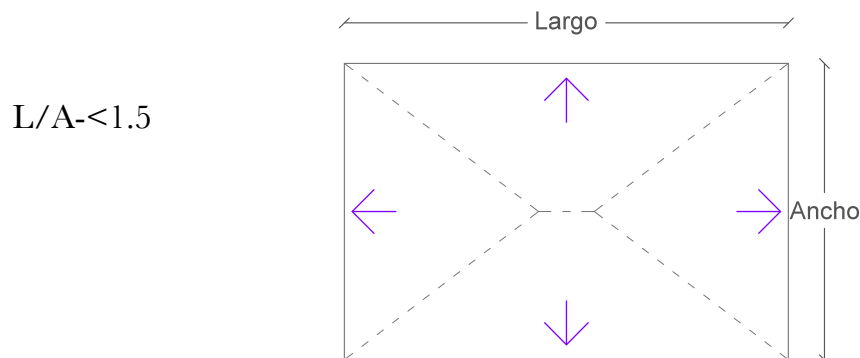
Surgiendo sistemas como la losacero, el sistema de vigueta y bovedilla, las losas encasetonadas, las tridilosas, entre otras. Sin embargo a manera estructural solo se dividen en dos tipos, unidireccionales y perimetrales, aunque claro en su diseño estructural también habrá que tomar en consideración el sistema constructivo.

Tipos de losas

- Losas unidireccionales. Son las losas que por su forma trabajan en una sola dirección, ya que en dos de sus extremos son tan holgados que se dice que sus trabes son de liga, ya que casi no están cargando, sino que sólo ligan o unen el elemento para conservar su continuidad estructural.



- Losas bidireccionales o perimetrales. Estas losas trabajan en dos direcciones, es decir, reparten sus cargas hacia todos sus bordes o perímetro, dividiendo su carga a 45° en cada uno de sus vértices. Su proporción entre su largo y ancho es menor o igual que 1.5.



2.6.3. Estructuras Espaciales

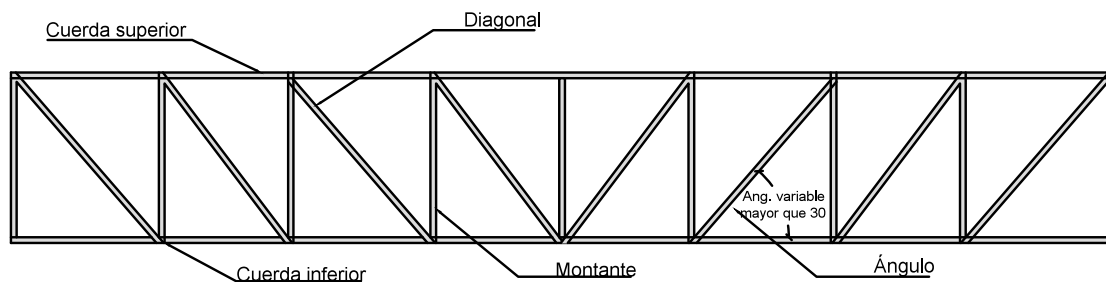
Son estructuras que explotan al máximo la gran estabilidad del triángulo, vectorizando cada una de sus fuerzas y materializándolas, dando como resultado estructuras de vector activo. Transmite las fuerzas externas que se le aplican basándose en la continuidad de una superficie.

Armaduras

Cómo ya habíamos mencionado en el apartado de estática, las armaduras son un sistema de forma activa en donde cada uno de sus elementos está trabajando, partiendo de la estabilidad de sus ángulos como en el caso de los triángulos, se utiliza para aligerar la estructura o salvar grandes claros, o salvar elementos en voladizo, pero al emplearlas se adquiere un mayor peralte que una viga tradicional, por lo que muchas veces reciben el nombre de sistema espacial, ya que ocupa más espacio. Su colocación requiere de mano de obra especializada y genera un mayor gasto, pero a pesar de lo que pudieran parecer desventajas si se usa de forma adecuada puede dar muchísimas ventajas.

El objetivo es buscar aquella relación Peralte/Claro (H/L) que optimice el uso de material en la estructura, considerando que el costo directo de la armadura es proporcional al peso de la misma.

Las partes de una armadura son el ángulo, cuerda superior, inferior, diagonal y en algunos caso montante.



Tipos de armaduras

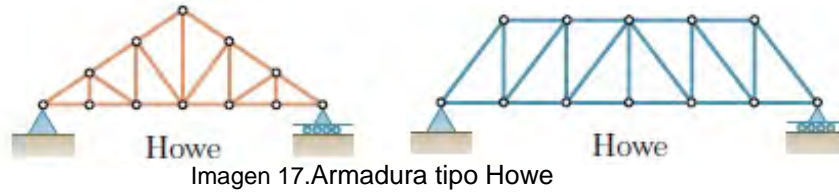
En general existen tres tipos de armaduras de acuerdo a su forma, la Pratt, Warren y Howe, y de ellas derivan algunas de sus variaciones.

- Pratt. Se caracteriza por tener sus diagonales perpendiculares a la cuerda superior y la cuerda inferior a tensión.

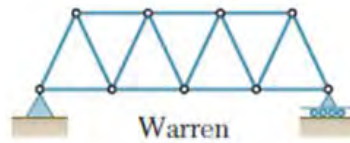


Imagen 16. Armaduras tipo Pratt

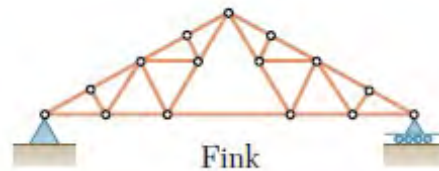
- Howe. Esta armadura es inversa a la Pratt, tiene la gran ventaja de para cargas livianas funciona como la Pratt, pero además sus esfuerzos se ven efectuados en la cuerda a tensión, siendo mayor que en la cuerda a compresión en la mitad del claro, dando una mayor posibilidad de carga vertical.



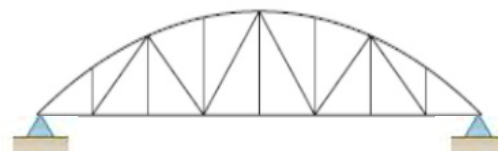
- Warren. Tienen la ventaja de que sus esfuerzos a tensión y compresión son prácticamente iguales, lo cual es beneficiado en ser más livianas ya que ocupan menor cantidad de material, además de que su fabricación resulta más rápida y económica pues permite cortar sus elementos a longitudes iguales. Su desventaja es que soporta menor carga.



- Fink. Es una armadura que suele utilizarse en pendientes muy pronunciadas, utilizarla resulta muy económico ya que la mayoría de sus elementos trabajan a tensión, mientras que los que trabajan a compresión son bastante cortos.



- Armadura de Cuerda y Arco. Es una variación de la armadura tipo Warren pero con la forma de un arco.



Losa espacial

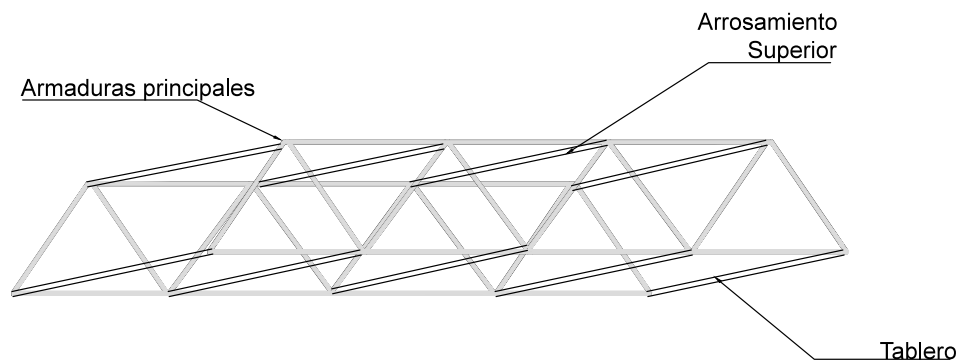
Es una estructura de forma activa que funciona a base de triángulaciones logrando aligerar su material y cubrir claros grandes, sin embargo son un poco más caras y no sirven como losas de entrepiso.

Funcionan trabajando a tracción o a compresión, pero no a flexión. Por lo que las fuerzas exteriores sólo deben aplicarse en los nodos. Y los elementos se configuran en el espacio de tal modo que la rigidez de cada unión se puede considerar despreciable, es decir, cada unión se considera una articulación a efectos de cálculo.

“Este tipo de estructuras fue desarrollado de forma independiente por Alexander Graham Bell hacia 1900 y Buckminster Fuller hacia 1950. El principal objetivo de Bell era desarrollar estructuras muy rígidas para los sectores naval y el ámbito de la entonces todavía naciente ingeniería aeronáutica. Buckminster Fuller, sin embargo, lo aplicó al mundo arquitectónico donde la aplicación de este tipo de estructuras es mucho más relevante.

Alexander Graham Bell contribuyó al desarrollo de esa tipología de estructuras ya que, hacia 1900, trabajaba con formas tetraédricas para conseguir la mayor resistencia con el menor peso, aplicado al ámbito de la ingeniería aeronáutica.

La selección de direcciones de barra se establecía de modo que cada nudo estructural quedara ligado con otros cuatro en su propio plano horizontal y con otros cuatro más en el paralelo superior o inferior, produciéndose así una placa de emparrillado en la que las barras de los planos horizontales se alineaban según dos direcciones ortogonales, y el resto adoptaba orientaciones diagonales muy diferenciadas de las cerchas comunes”¹¹.



Gracias a esta lógica estructural han surgido sistemas constructivos como el “molecule” el cual funciona a base de barras y nodos, triangulando muros y losas. Sistema que ganó el concurso al mejor invento en el 2009 con la “Casa Molecule”



Imagen 21. Casa Molecule.

¹¹https://es.wikipedia.org/wiki/Malla_espacial

3. ESTÁTICA O EQUILIBRIO

La estática se refiere al equilibrio de las fuerzas sobre un cuerpo en reposo, y como ya se mencionó el objetivo de todo sistema estructural es mantenerse en reposo o bien ser estable.

En la vida real es poco común encontrar elementos aislados en las estructuras, es decir que pudiesen ser analizados estáticamente (sin considerar otros factores que inciden sobre su estabilidad como la continuidad en marcos), pero es fundamental que el arquitecto comprenda la lógica del equilibrio, para así poder desarrollar un sistema coherente a las leyes de la física, ya que las estructuras no es otra cosa que física, pues son las fuerzas que actúan sobre una geometría, ósea vectores. Por tanto para fines didácticos antes de introducirnos al diseño de las estructuras y por su puesto del cálculo, abordaremos primero este tema para así poder comprender la bases lógicas de todo sistema estructural que como ya se menciono pero valdría la pena redundar, el objetivo de todo sistema estructural es mantener el edificio en equilibrio. Dicho lo anterior revisaremos algunos temas de la física, pues como se mencionó al principio de esta tesis, las estructuras no son más que física aplicada a una geometría.

Objetivos:

- Que arquitecto comprenda las Leyes de Newton, para poder aplicarlas a las estructuras.
- que logré aplicar la primera condición del equilibrio y desarrollar un diagrama de cuerpo libre.
- que logre calcular el momento de torsión respecto a cualquier eje y definir las fuerzas o distancias (brazo de palanca), para equilibrar un sistema por media de la primera y segunda condición del equilibrio
- así como brindar solución a elementos horizontales como vigas y armaduras simplemente apoyados, es decir estáticamente.

3.1 ¿QUÉ ES LA FUERZA?

Segunda Ley de Newton

Este tema es algo que ya tenemos bien digerido, pero no está de más que lo definamos, para así poder comprender el uso de vectores y como accionan en las estructuras.

La física define la fuerza como aquello que actúa sobre un cuerpo para que este sea alterado ya sea en su movimiento o en su forma, y dicha energía aplicada no sólo es medible, en cuanto a su magnitud, sino que además se puede conocer su dirección y sentido, por tanto se define como una cantidad vectorial.

Una cantidad vectorial se especifica totalmente por una magnitud y una dirección, la dirección puede indicarse tomando como referencia el Norte, Sur, Este y Oeste, y en el caso de la fuerza su magnitud son Newtones, ya que fue Isaac Newton quien formuló matemáticamente

su ecuación, quien la refirió como o , la Fuerza es igual a la masa por la aceleración, que se le aplica a un objeto.

$$F=ma$$

Lo que corresponde a su Segunda Ley, la cual dice que la aceleración de un objeto es la aceleración de una fuerza resultante (F), es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza e inversamente proporcional a la masa(m).

Un Newton (N) equivale a la fuerza que debe ejercerse sobre una masa de un kilogramo para que adquiriera una aceleración de 1m/s^2 , por tanto se define como:

$$1\text{N}=1\text{Kg}\cdot 1\text{m/s}^2$$

En las estructuras aplicamos estos vectores a los que denominamos peso o carga, pues nuestra magnitud es la masa, nuestra aceleración es la gravedad de la Tierra, la cual corresponde a 9.80665 m/s^2 , y la dirección va dirigida al centro del planeta; sin embargo al descomponer sus vectores la fuerza resultante tendrá una nueva dirección.

En México a este peso o carga se le asigna la unidad de kilogramos, o toneladas, dependiendo su magnitud, conforme a la Norma Oficial Mexicana¹.

$$1\text{N}=1.01976\text{Kg}$$

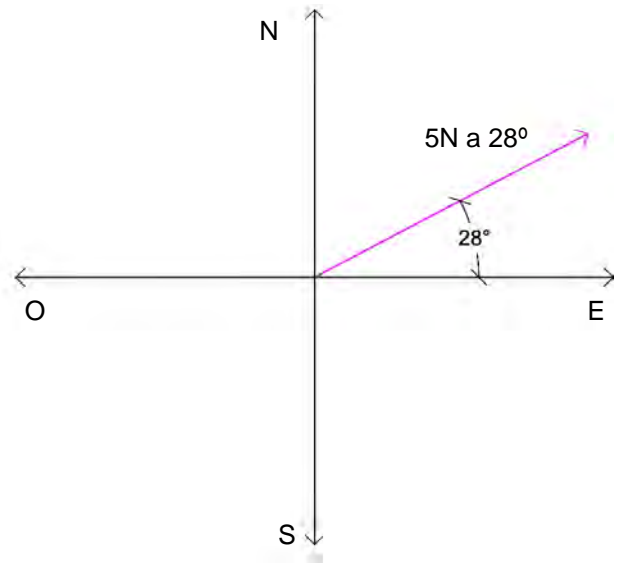
$$1\text{Kg}=9.80665\text{ N}$$

Ya que $1\text{N}=1\text{Kg}\cdot 9.80665\text{m/s}^2$

3.2. SUMA Y RESTA DE VECTORES (Suma y resta de Fuerzas)

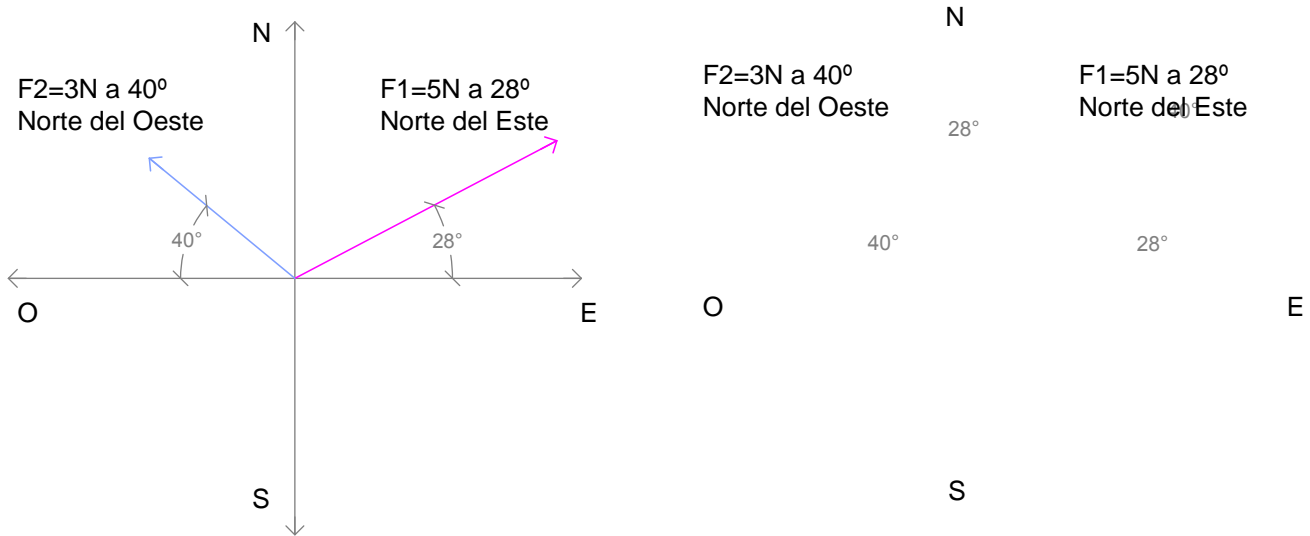
Los vectores se pueden sumar de manera gráfica o analítica y para ello existen diversos métodos.

Para la suma mediante gráficos utilizaremos el método del paralelogramo, el cual consiste en trazar un paralelogramo por medio de la copia paralela de cada una de las fuerzas, para formar dicha forma geométrica. Ejemplo:



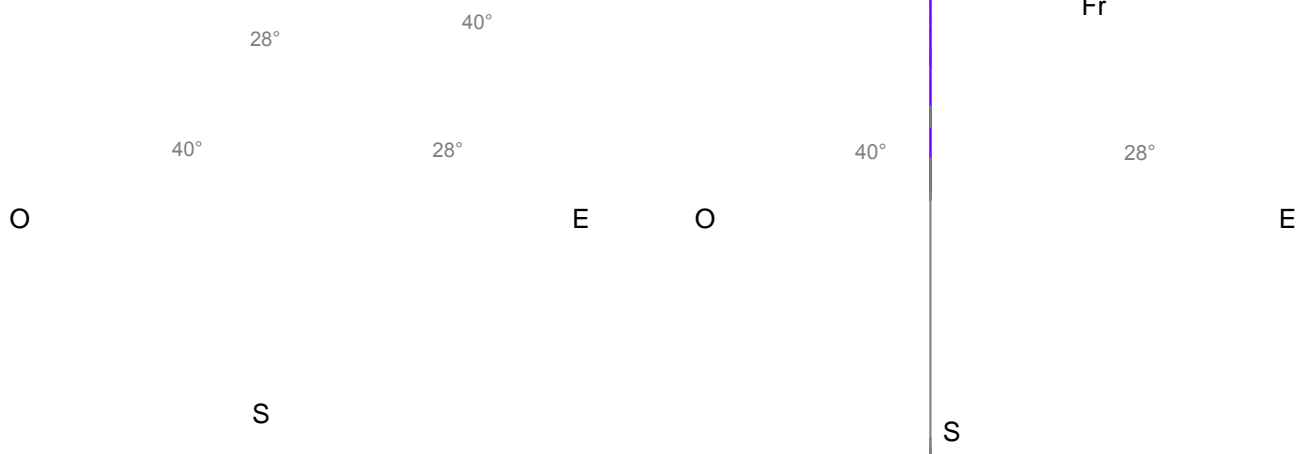
Representación gráfica de la fuerza.

¹ La Norma Oficial Mexicana de Unidades, sustituyó al Sistema Métrico Decimal en 1890.



1. Se realiza el diagrama de cuerpo libre.

2. Se trazan las fuerzas paralelas.



3. Encontramos así el paralelogramo.

4. Y con ello la nueva fuerza resultante.

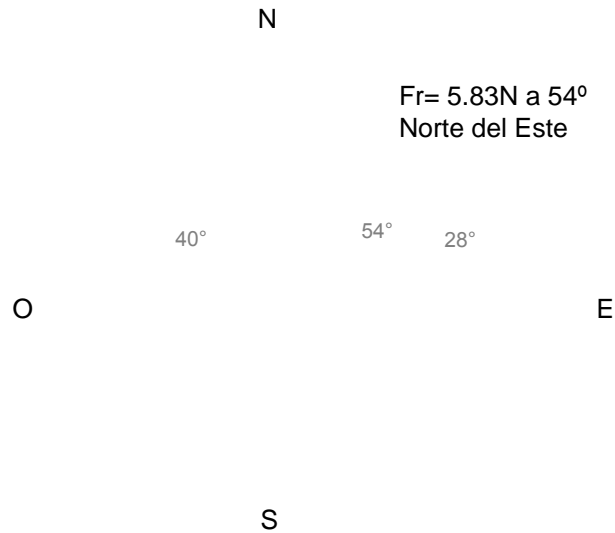
Y dado que si observamos el paralelogramo con la nueva fuerza resultante, tenemos dos triángulos, donde la hipotenusa de ambos es dicha fuerza F_r ; es posible encontrar su magnitud por medio de trigonometría. Donde:

$$F_r^2 = F_1^2 + F_2^2$$

por tanto, $F_r^2 = 5N^2 + 3N^2 = \sqrt{(25N + 9N)} = \sqrt{(34N)} = 5.83N$

$$\tan \theta = F_2 / F_1$$

entonces, $\tan \theta = 3N / 5N = \tan \theta = 0.6 = \theta = \tan^{-1}(0.6) = 54^\circ$



5. Y con ello la nueva fuerza resultante.

3.3. PRIMERA CONDICIÓN DEL EQUILIBRIO

Primera y Tercera Ley de Newton

La Primera Ley de Newton, nos dice que un cuerpo permanecerá en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que una fuerza externa no equilibrada actúe sobre él. Es decir, existe una ley de inercia, la cual “*Newton denominó como la propiedad de una partícula que le permite mantenerse en un constante movimiento o de reposo*” (TIPPENS, p. 69).

La Tercera Ley de Newton, nos dice que para cada fuerza de acción, corresponde una de reacción, en igual magnitud y dirección contraria.

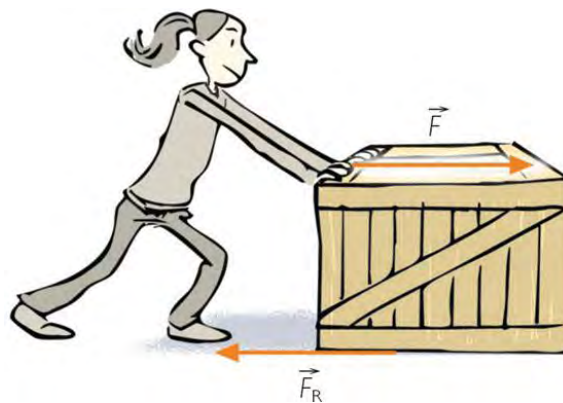


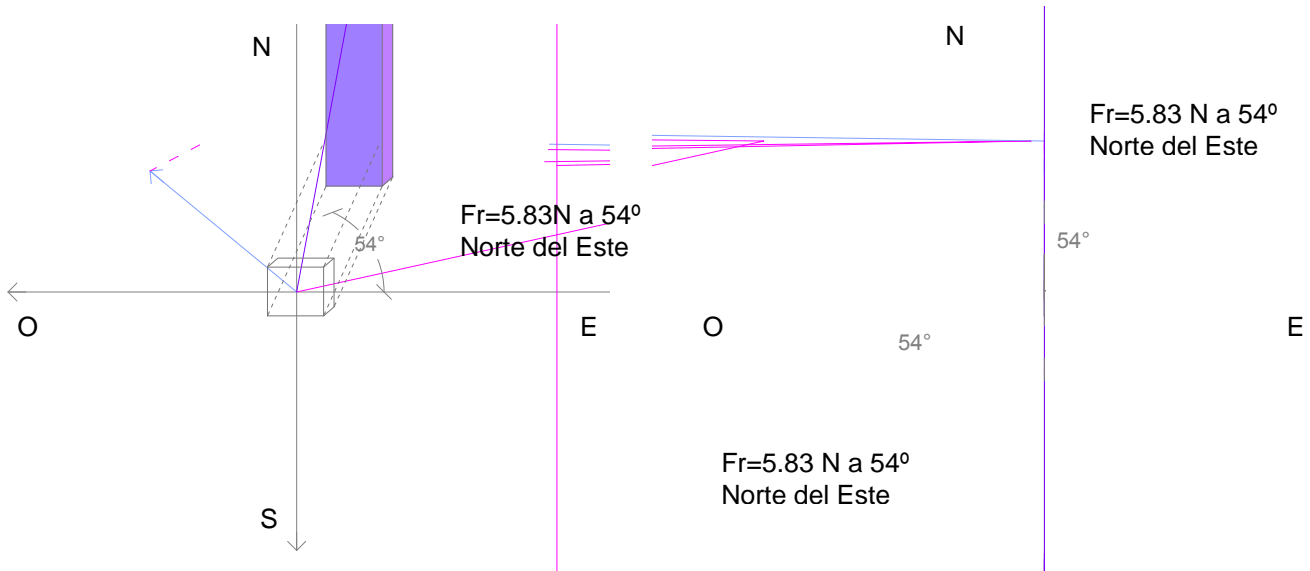
Imagen 1. Toda fuerza corresponde una de igual magnitud, en la misma dirección en sentido contrario.

Por tanto no puede existir una fuerza aislada, es decir, se genera un sistema de fuerzas, donde si la fuerza resultante es igual a cero, decimos que se encuentra en equilibrio, si la resultante tiende a producir un movimiento, significa que la fuerza resultante está siendo mayor y esto tiende a mover el objeto en la dirección de ésta fuerza.

Un sistema de fuerzas puede equilibrarse sustituyendo la fuerza resultante por una de la misma magnitud pero en sentido opuesto, la cual se denominará equilibrante.

Lo anterior lo definimos como la primera condición del equilibrio traslacional y se resume en:

$$\Sigma F_x=0 ; \Sigma F_y=0$$

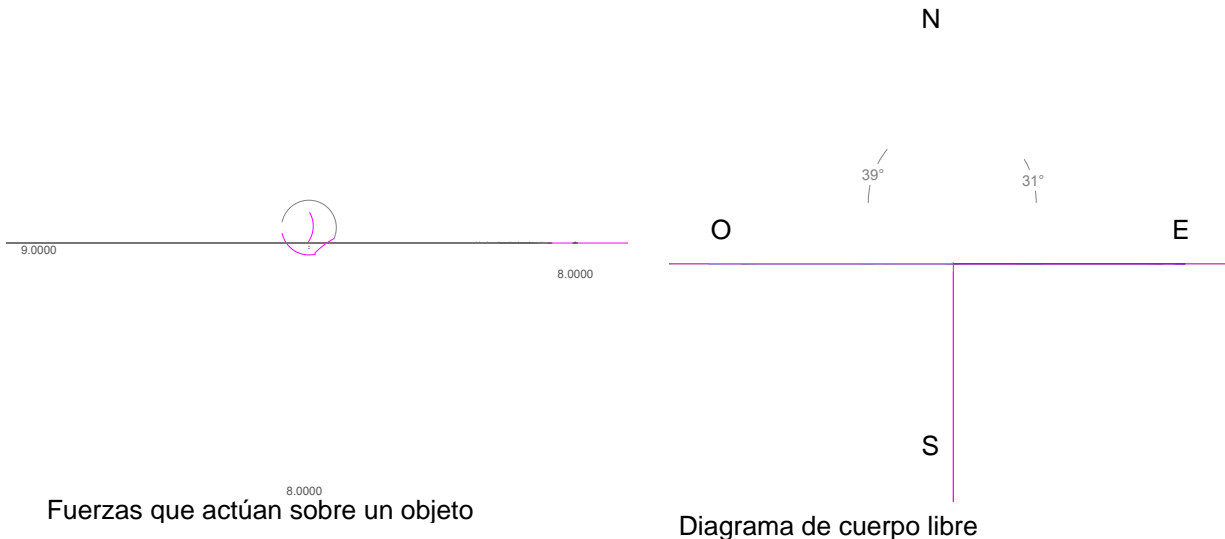


Fuerza resultante, aplicada a un objeto.

Fuerza equilibrante para que aún con la fuerza aplicada el objeto permanezca estático.

Es decir, en el ejemplo de suma de vectores, obtuvimos como fuerza resultante 5.83 N que si lo traducimos a lo anterior estaríamos diciendo que el objeto en el que esta actuando el sistema de fuerzas, está recibiendo una fuerza total que lo provoca que se mueva en dirección norte del este, pero si al sistema le aplicamos una fuerza con la misma magnitud pero en sentido contrario es decir con dirección sur del oeste, entonces estaremos equilibrando el sistema provocando que el objeto quede inmóvil, es decir en equilibrio.

Diagramas de cuerpo libre

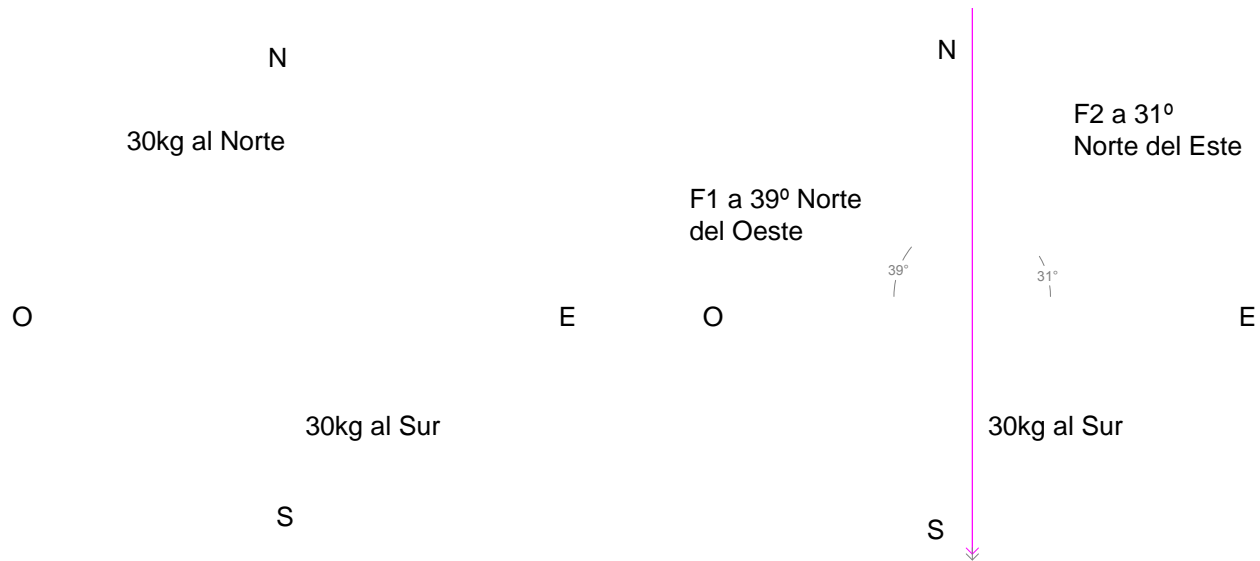


Fuerzas que actúan sobre un objeto

Diagrama de cuerpo libre

“Un diagrama de cuerpo libre es un diagrama vectorial que describe todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo”(TIPPENS, p. 73). En este caso las fuerzas que estarían actuando es la gravedad la cual se ve reflejada en el peso, y las reacciones que intentando soportar el peso de la piñata, reflejados por estos dos tensores.

Para lograr poner en equilibrio la piñata lo más simple sería colocar una fuerza en dirección contraria al peso, que ayudara a equilibrar el sistema, sin embargo en el ejemplo de la piñata no se cuenta con un soporte de donde pudiéramos anclar dicha fuerza, como lo podría ser una losa o una trabe; por tal motivo es entonces necesario descomponer la fuerza equilibrante. En este caso se cuentan con dos muros los cuales nos ayudarían a generar dos vectores que compensen la fuerza equilibrante.



Fuerza necesaria para elevar la piñata.

Descomposición de la fuerza vertical necesario para elevar la piñata en dos.

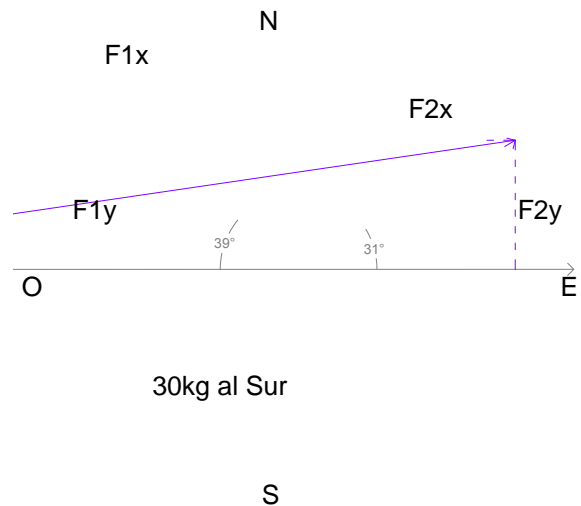
Para encontrar la magnitud de las dos fuerzas equilibrantes recordaremos la primera condición del equilibrio.

$$\Sigma F_x=0 ; \Sigma F_y=0$$

Y descompondremos ambas fuerzas en “x” y “y”, para poder igualar el sistema a 0 en ambos casos. Entonces es momento de volver a aplicar trigonometría.

Supongamos que cada vector carga la mitad de la piñata, es decir 15kg, entonces.

$$\cos 39^\circ = 15\text{kg}/F1$$

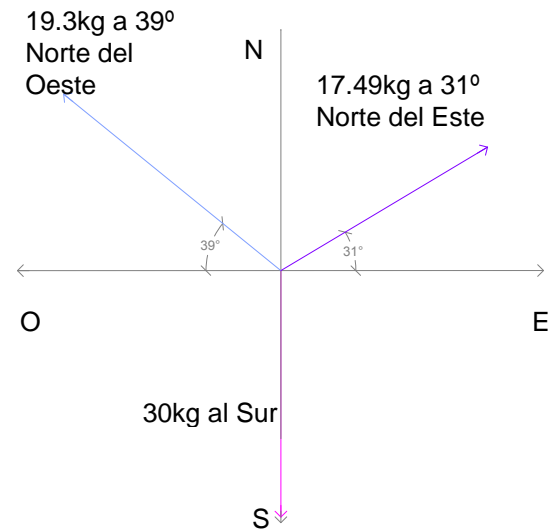


$$F_1 = 19.30\text{kg a } 39^\circ \text{ Norte del Oeste}$$

$$\cos 31^\circ = 15\text{kg}/F_2$$

$$F_2 = 17.49\text{kg a } 31^\circ \text{ Norte del Este}$$

Recordando que estas fuerzas sólo sirvieran para mantener la piñata en equilibrio (estática o inmóvil), para levantarla, habría que aplicar una fuerza mayor.



3.4. SEGUNDA CONDICIÓN DEL EQUILIBRIO

Momento de torsión y equilibrio rotacional

Cuando las fuerzas no tienen un punto o línea de acción común², como el caso anterior que era el centro de la piñata, se le denomina sistema de fuerzas no concurrentes, y en estos casos puede haber una tendencia a girar, ésta tendencia a girar se define como momento de torsión. Pero si el sistema se encuentra en equilibrio, ósea si la fuerza resultante es cero, entonces habrá un equilibrio rotacional, lo cual se define como la segunda condición del equilibrio. Lo que se resume en:

$$\Sigma M = 0$$

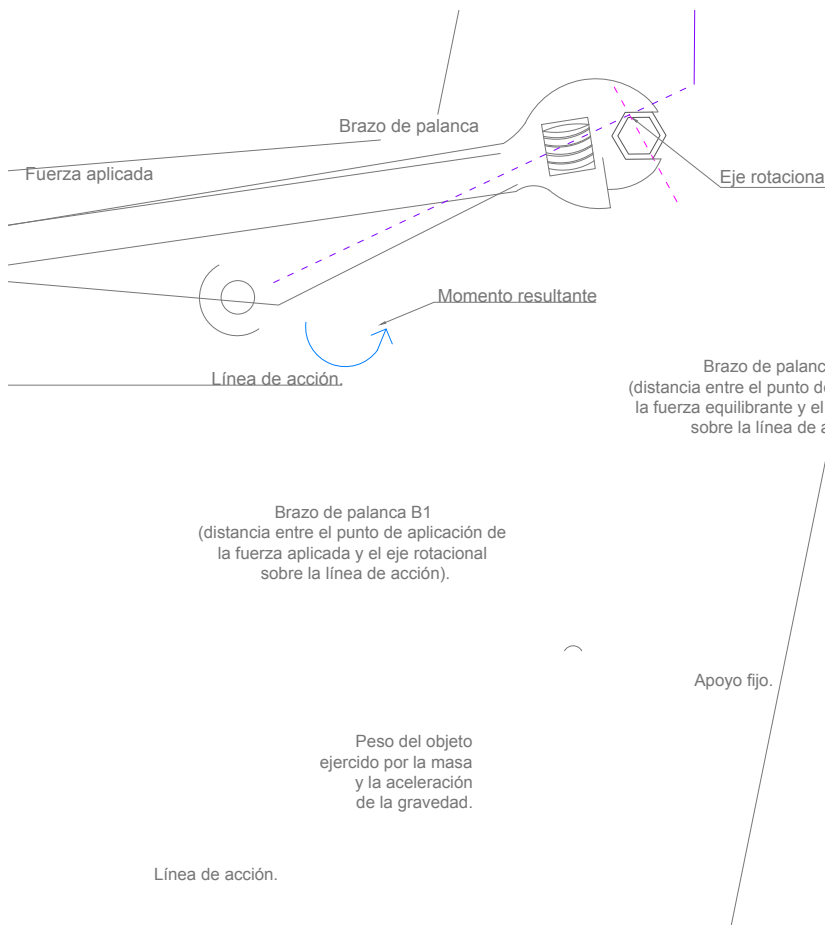
Debido a que en estos sistemas de fuerzas no existe un punto de acción común es necesario poner atención en el punto de acción de cada fuerza que actúa en el sistema, además de su magnitud, ya que debido al punto en el que se este aplicando cada fuerza, aumentará o disminuirá su efecto en el sistema, cuanto más cerca o lejos este del eje de rotación. A esto se le conoce como brazo de palanca³. Por tanto el Momentos de torsión será igual a la fuerza aplicada por su distancia o brazo de palanca:

$$\tau = F * r$$

Algunos de sus ejemplos los podemos encontrar en cualquier aplicación de lo que conocemos como torca o palanca y en el caso de las estructuras, lo empleamos para el calculo de elementos horizontales, como lo son vigas, traveses, losas y armaduras.

² “La línea de acción de una fuerza es una línea imaginaria que se extiende indefinidamente a lo largo del vector o en ambas direcciones”. (TIPPENS, p.94)

³ “El brazo de palanca de una fuerza es la distancia perpendicular que hay de la línea de acción de la fuerza al eje de rotación” (TIPPENS, P.95).



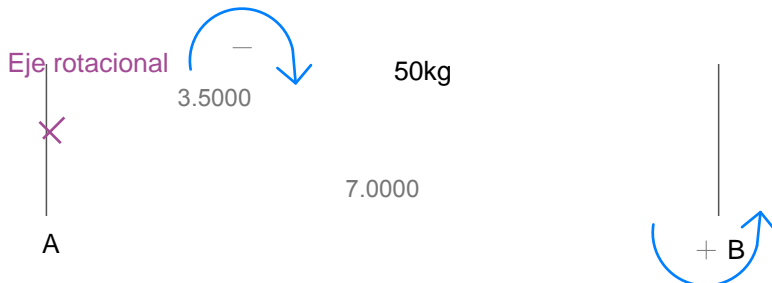
Cuando el momento gira en sentido a las manecillas del reloj se dice que es un momento negativo y cuando va en sentido opuesto positivo.



Si tanto la fuerza aplicada como la fuerza equilibrante fueran iguales, la que llamamos equilibrante se vería reflejada como una fuerza mayor, ya que el momento resultante de dicha fuerza sería mayor debido a que tiene mayor brazo de palanca.

3.5. APOYOS Y REACCIONES

De acuerdo a lo anterior, si tenemos una viga simplemente apoyada en ambos extremos con una fuerza puntual al centro, estaríamos diciendo que dicha fuerza para estar equilibrada tendría que tener una fuerza equilibrante en sentido contrario, la cual se ve reflejada en sus dos apoyos que serían entonces las reacciones a la fuerza actuante, y si alguna de estas reacciones sobre pasara la magnitud de la necesaria para que la suma de las fuerzas sea igual a cero entonces la viga giraría en sentido de la fuerza mayor.



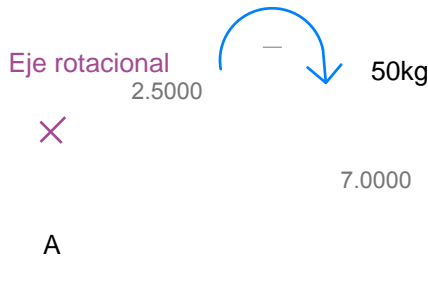
$$\Sigma\tau = A(0m) - 50kg(3.5m) + B(7.0m) = 0$$

$$B = [50kg(3.5m)] / 7.0m = 25kg$$

$$\Sigma\tau = A(7.0m) - 50kg(3.5m) + 25kg(0m) = 0$$

$$A = 25kg$$

Cada reacción cargaría la mitad de la fuerza puntual, porque ambas reacciones son equidistantes de la fuerza, es decir su brazo de palanca es igual, pero si la fuerza estuviera más cercana a alguno de los apoyos, entonces el momento aumentaría en dicho punto.



$$\Sigma\tau = A(0m) - 50kg(2.5m) + B(7.0m) = 0$$

$$B = [50kg(2.5m)] / 7.0m = 17.85kg$$

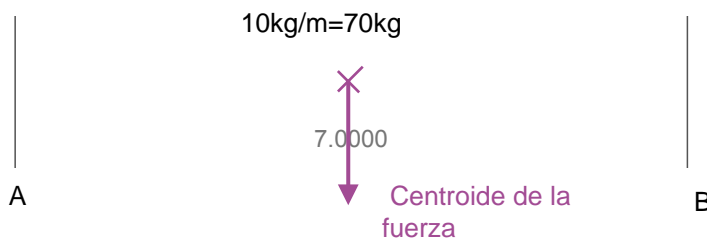
$$\Sigma\tau = A(7.0m) - 50kg(3.5m) + 25kg(0m) = 0$$

$$A = [50kg(4.5m)] / 7.0m = 32.14kg$$



$$A+B=50kg$$

Y si aumentamos la fuerza en alguna de sus reacciones, es decir $\Sigma\tau \neq 0$, el elemento giraría en ese sentido. Lo mismo ocurriría con una fuerza continua, pero en este caso el punto de acción de esta fuerza sería el centroide⁴ de la misma.



$$\Sigma\tau = A(0m) - 700kg(3.5m) + B(7.0m) = 0$$

$$B = [700kg(3.5m)] / 7.0m = 350kg$$

$$\Sigma\tau = A(7.0m) - 700kg(3.5m) + 350kg(0m) = 0$$

$$A = 350kg$$

3.6. SOLUCIÓN DE ELEMENTOS HORIZONTALES

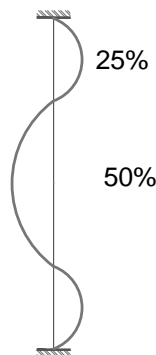
Tipos de apoyos y Valor de K

Antes de continuar con la solución de elementos horizontales, es necesario considerar otros puntos como sus diversos tipos de soportes para un elemento horizontal, y para cada uno de ellos corresponde un tipo de deformación.

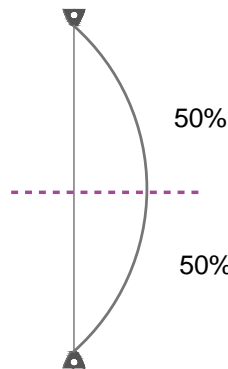
-Empotrado

-Articulado / apoyo fijo

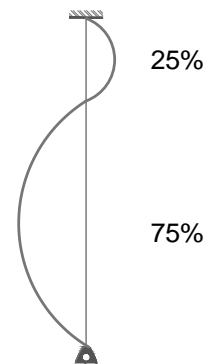
-Móvil / simplemente apoyado/ rodillo / guiado



Empotre en ambos soportes



Articulación en ambos apoyos



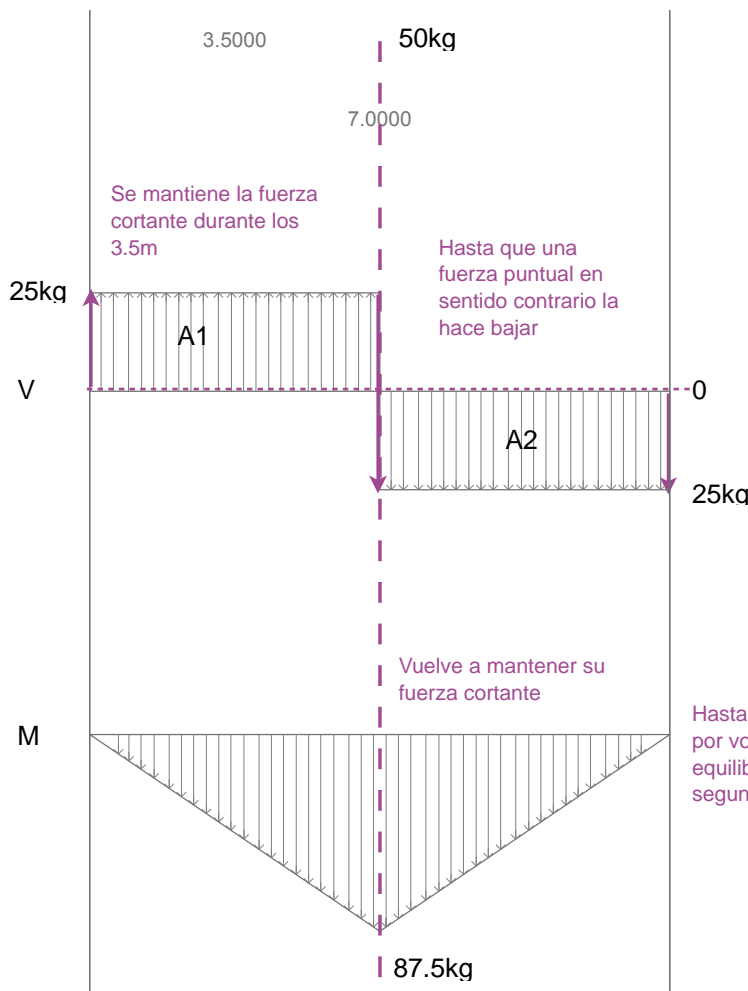
Empotrada en un apoyo y articulada en el otro

⁴ Se refiere al centro de gravedad de un elemento o fuerza.

Esta deformación de elementos de acuerdo a su tipo de soporte aplica tanto para elementos horizontales como verticales, y parte de la Ley de Hooke, la cual abordaremos en el capítulo V, pero ahora lo que necesitamos saber es la proporción con la que se deforma el elemento.

Solución de Vigas

Aplicando todo lo anterior, veremos la solución de vigas aisladas, pero en este caso no sólo revisaremos las fuerzas aplicadas y sus reacciones, sino que también revisaremos sus esfuerzos, su cortante⁵ (V) y su momento (M).



$$\Sigma\tau = A(0m) - 50kg(3.5m) + B(7.0m) = 0$$

$$B = [50kg(3.5m)] / 7.0m = 25kg$$

$$\Sigma\tau = A(7.0m) - 50kg(3.5m) + 25kg(0m) = 0 \quad A = 25kg$$

El momento (M) se refiere como ya veíamos en el tema anterior a la fuerza por la distancia, por tanto el área de la fuerza cortante, es igual al momento.

$$25kg(3.5m) = 87.5kgm$$

Y si la gráfica de cortante fue recta, es decir la fuerza cortante fue continua, el momento se graficará inclinado, y si el cortante fue inclinado, el momento será curvo.

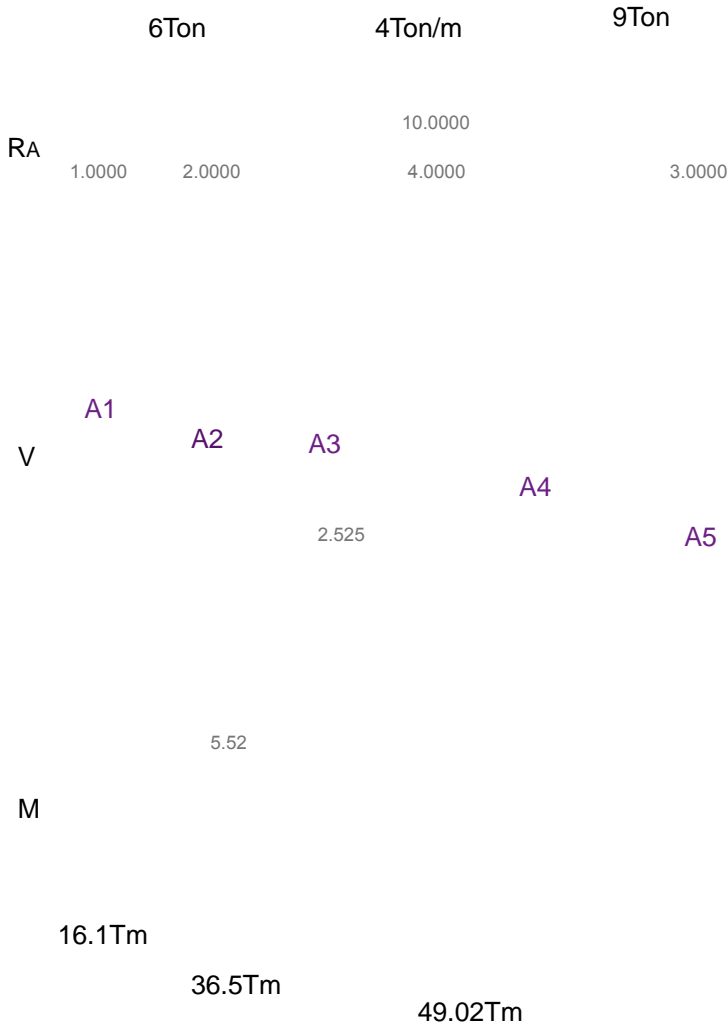
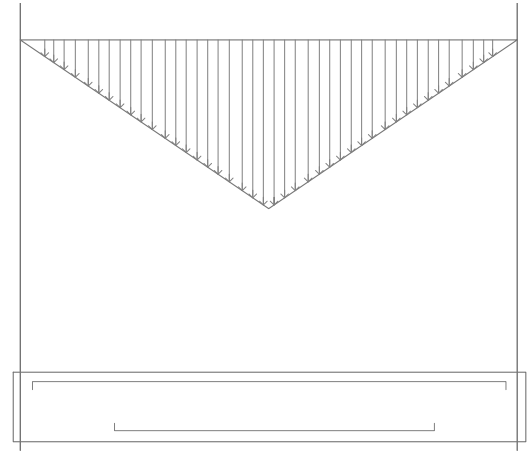


⁵ Recordando que el cortante es el resultado de dos fuerzas contrarias que tienden a partir de un elemento.

Cabe señalar que los momentos se grafican de forma inversa, es decir acorde a su signo, sin embargo para fines didácticos los graficaremos de esta manera para obtener de forma más sencilla el armado del elemento.

Por ejemplo en el caso anterior, apróx. el armado sería de esta manera.

Ahora revisaremos un ejemplo un poco más complicado, revisando todo lo anterior.



$$\Sigma \tau = 6\text{TON}(1\text{m}) - 16\text{TON}(5\text{m}) - 9\text{TON}(7\text{m}) + \text{RB}(10\text{m}) = 0$$

$$\text{RB} = \frac{(6\text{TON} - 80\text{TON} - 63\text{TON})}{10\text{m}}$$

$$\text{RB} = 14.9\text{TON}$$

$$\Sigma Y = \text{RA} - 6\text{TON} - 16\text{TON} - 9\text{TON} + 14.9\text{TON} = 0$$

$$\text{RA} = 6\text{TON} + 16\text{TON} + 9\text{TON} - 14.9\text{TON}$$

$$\text{RB} = 16.1\text{TON}$$

$$\text{A1} = 16.1 * 1 \text{ M} = 16.1\text{Tm}$$

$$\text{A2} = 10.1 * 2 = 20.2\text{Tm}$$

$$20.2\text{Tm} + 16.1\text{Tm}$$

$$\text{M} = 36.3\text{Tm}$$

$$\text{A3} = (10.1 * 2.52) / 2 = 12.726$$

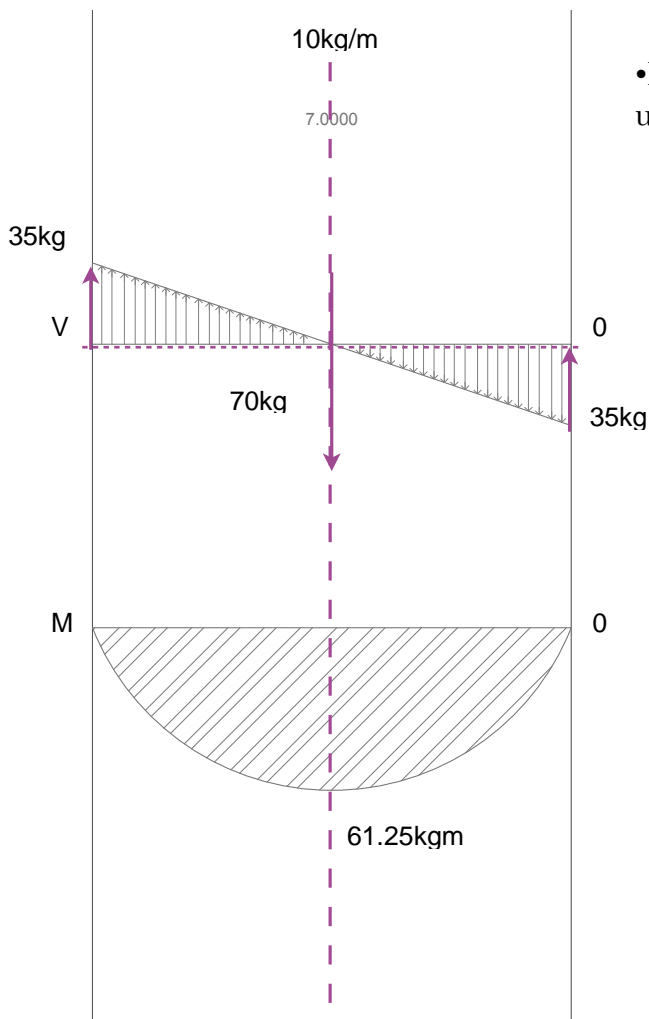
$$36.3\text{Tm} + 12.72\text{Tm}$$

$$\text{M}_{\text{máx.}} = 49.026\text{Tm}$$

Fórmulas para obtener el V y el M

Además del método de las áreas existen algunas formulas para conocer los momentos de una viga, así como para conocer sus cortantes, conforme a su soporte, pues como ya veíamos su deformación corresponde al tipo de soporte que tiene el elemento.

Se basan en el calculo integral, basados en la lógica de que el momento es el resultado del área de la cortante, y la integral ayuda a encontrar el área bajo la curva, por tanto podríamos obtener sus esfuerzos y momentos mediante integrales, pero para fines prácticos y ya que las estructuras son cálculos aproximados, debido a que en la estructuras influyen muchísimas fuerzas y condicionantes que despreciamos porque no somos físicos y además las estructuras no las podemos diseñar exactas sino siempre con un margen de seguridad, nos bastarán las siguientes formulas que como ya dijimos también vienen del cálculo integral.



•Para la viga simplemente apoyada con carga uniformemente repartida

$$R=V= (wl)/2 = W/2$$

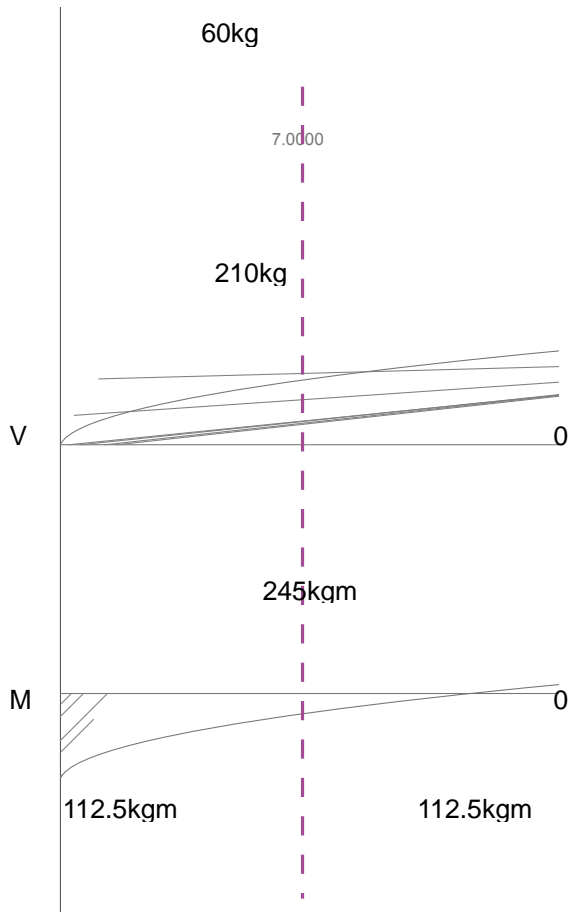
$$M_{\text{máx}}=(wl^2)/8$$

$$R=V= (10*7)/2 = 70/2$$

$$V=35 \text{ kg}$$

$$M_{\text{máx}}=(10*7^2)/8$$

$$M=61.25 \text{ kgm}$$



•Para la viga simplemente apoyada con carga uniformemente repartida

$$R=V= (wl)/2 = W/2$$

$$M_{máx}=(wl^2)/12$$

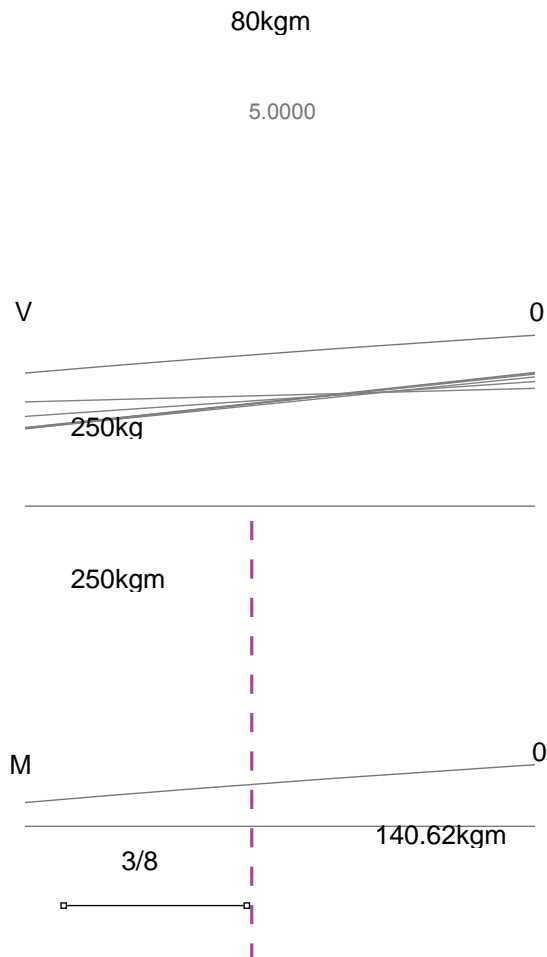
$$M_1= (wl^2)/24$$

$$R=V= (60*7)/2 = 420/2$$

$$V=210\text{kg}$$

$$M_{máx}=(60*7^2)/12 \quad M_{max}=245\text{kgm}$$

$$M_1= (60*7^2)/24 \quad M_1=112.5\text{kgm}$$



•Para la viga empotrada en un extremo y libre pero guiada en el otro con una carga uniformemente repartida.

$$R_A=V_1= (3wl)/8$$

$$R_B=V_{2max}= (5wl)/8$$

$$R_x=R_A-W_x$$

$$M_{max}=(wl^2)/8$$

$$M_1=(9wl^2)/128$$

$$R_A=V_1= (3*80*5)/8 \quad V_1=150\text{kg}$$

$$R_B=V_{2max}= (5*80*5)/8 \quad V_2=250\text{kg}$$

$$M_{max}=(80*5^2)/8 \quad M_{max}=250\text{kgm}$$

$$M_1=(9*80*5^2)/128 \quad M_1=140.62\text{kgm}$$

Armaduras

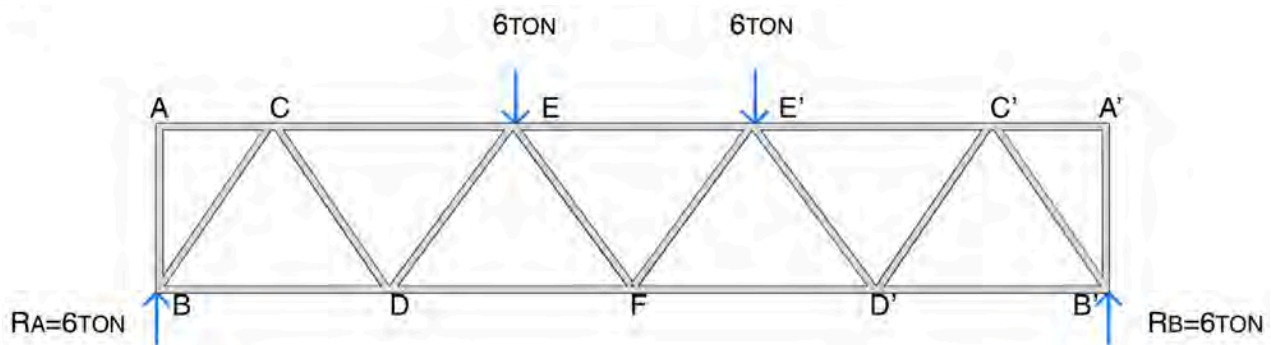
Las armaduras son un sistema de forma activa, es decir cada uno de sus elementos está trabajando, su lógica parte de la estabilidad de sus ángulos como en el caso de los triángulos, se utiliza para aligerar la estructura o salvar grandes claros, o salvar elementos en voladizo, pero al emplearlas se adquiere un mayor peralte que una viga tradicional, por lo que muchas veces reciben el nombre de sistema espacial, ya que ocupa más espacio.

Solución de armaduras por el método del nodo

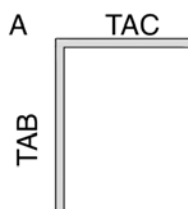
Existen diversos métodos para calcular la carga que deberá soportar cada elemento de una armadura y poder conocer así el tamaño de estos, en este caso aplicaremos el método del nodo ya que en este podemos aplicar los diagramas de cuerpo libre, ayudando a observar de manera gráfica y numérica, como las cargas se van transfiriendo de un elemento a otro, equilibrando el objeto.

Este método parte de entender que las armaduras como ya se mencionó, son estructuras de forma activa basada en una lógica de triangulación para hacerla más rígida, por tanto usa el sistema de vectores, de aquí el nombre del método del nodo, ya que veremos los esfuerzos a los que se está sometiendo cada barra de la armadura.

Es igual que en cualquier diagrama de fuerzas, es necesario definir, las fuerzas que están actuando y la manera en la que transmiten sus esfuerzos, por ejemplo si tenemos la siguiente armadura.

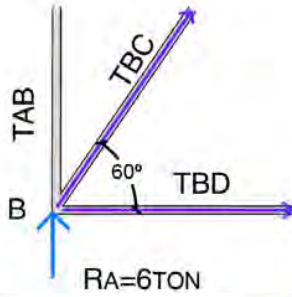


Para conocer el valor de las fuerzas que actúan en cada nodo utilizaremos las ya conocidas condiciones de equilibrio, pues repetimos, una estructura debe ser estable, y desarrollaremos el diagrama de cuerpo libre de cada uno de sus nodos; por tal motivo es conveniente diseñar una armadura simétrica.



$\Sigma F_X = TAC = 0$; Por lo tanto esta barra no está trabajando

$\Sigma F_Y = TAB = 0$; Por lo tanto esta barra tampoco está trabajando

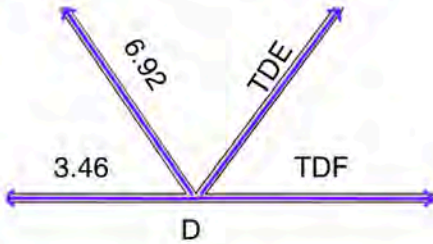


$$\begin{aligned} \Sigma FX &= TBC \cos 60^\circ + TBD = 0 \\ \Sigma FY &= 6 \text{ TON} + TBC \sin 60^\circ = 0 \end{aligned}$$

$$TBC = -6 \text{ TON} / \sin 60^\circ = \underline{-6.92 \text{ TON a compresión}}$$

$$\Sigma FX = -6.92 \cos 60^\circ + TBD = 0$$

$$TBD = 6.92 \cos 60^\circ = \underline{3.46 \text{ TON a tracción}}$$



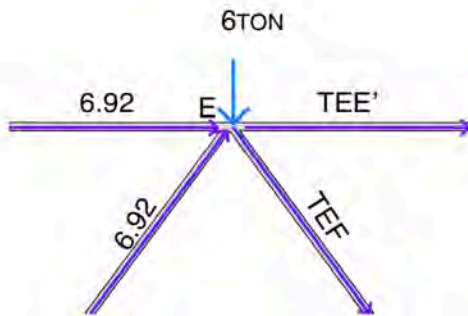
$$\Sigma FX = -6.92 \cos 60^\circ + TDF - 3.46 - TDE \cos 60^\circ = 0$$

$$\Sigma FY = TDE \sin 60^\circ + 6.92 \sin 60^\circ = 0$$

$$TDE = -6.92 \sin 60^\circ / \sin 60^\circ = \underline{-6.92 \text{ TON a compresión}}$$

$$\Sigma FX = -6.92 \cos 60^\circ + TDF - 3.46 - 6.92 \cos 60^\circ = 0$$

$$TDF = 2(6.92 \cos 60^\circ) + 3.46 = \underline{10.38 \text{ TON a tracción}}$$



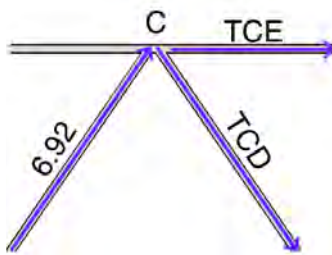
$$\Sigma FX = TEE' + 6.92 + TEF \cos 60^\circ + 6.92 \cos 60^\circ = 0$$

$$\Sigma FY = 6.92 \sin 60^\circ - TEF \sin 60^\circ = 0$$

$$TEF = 6.92 \sin 60^\circ / \sin 60^\circ = \underline{6.92 \text{ TON a tracción}}$$

$$\Sigma FX = TEE' + 6.92 + 6.92 \cos 60^\circ + 6.92 \cos 60^\circ = 0$$

$$TEE' = -6.92 - 2(6.92 \cos 60^\circ) = \underline{-13.84 \text{ TON a compresión}}$$



$$\Sigma FX = TCE + 6.92 \cos 60^\circ + TCD \cos 60^\circ = 0$$

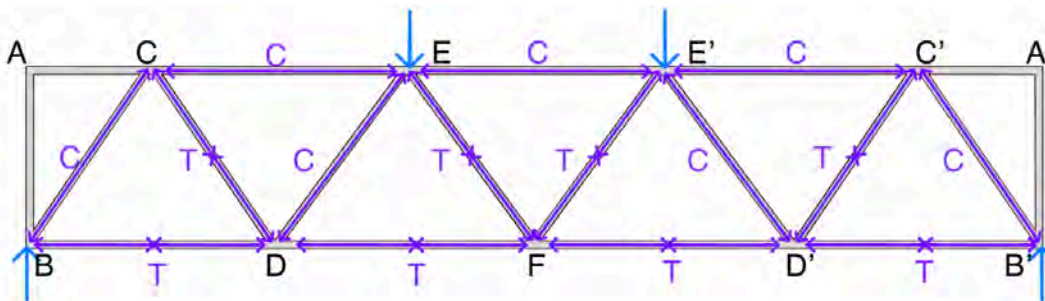
$$\Sigma FY = 6.92 \sin 60^\circ - TCD \sin 60^\circ = 0$$

$$TCD = (6.92 \sin 60^\circ) / \sin 60^\circ = \underline{-6.92 \text{ TON a tracción}}$$

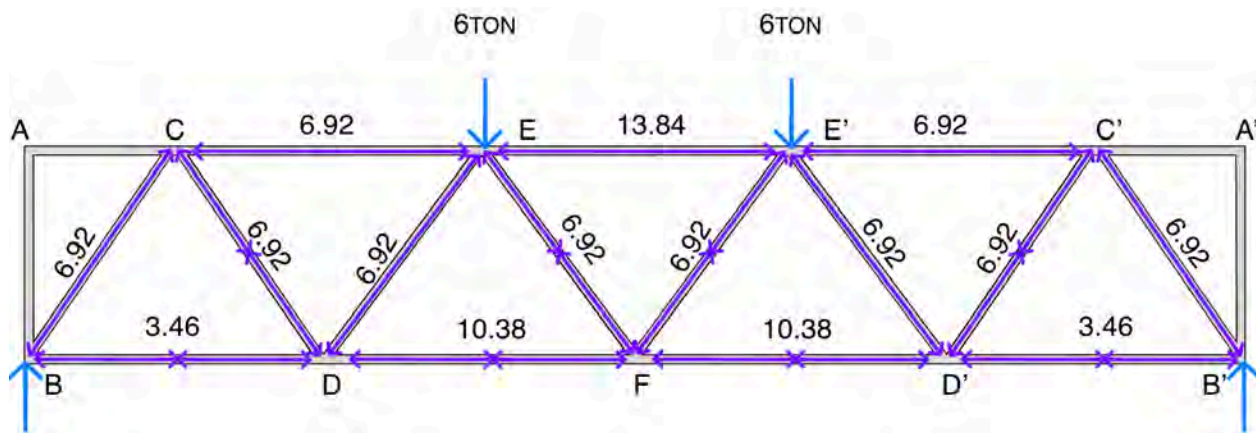
$$\Sigma FX = TCE + 6.92 \cos 60^\circ + 6.92 \cos 60^\circ = 0$$

$$TCE = -2(6.92 \cos 60^\circ) = \underline{-6.92 \text{ TON a compresión}}$$

A continuación realizaremos una tabla con los valores obtenidos, y si es de su preferencia también colocarlos gráficamente.



BARRA	FORMA EN QUE TRABAJA	VALOR
TAC	-	0
TAB	-	0
TBC	Compresión	6.92TON
TBD	Tracción	3.46TON
TCD	Tracción	6.92TON
TCE	Compresión	6.92TON
TDE	Compresión	6.92TON
TDF	Tracción	10.38TON
TEF	Tracción	6.92TON
TEE'	Compresión	13.84TON



4. Obtención de la Forma

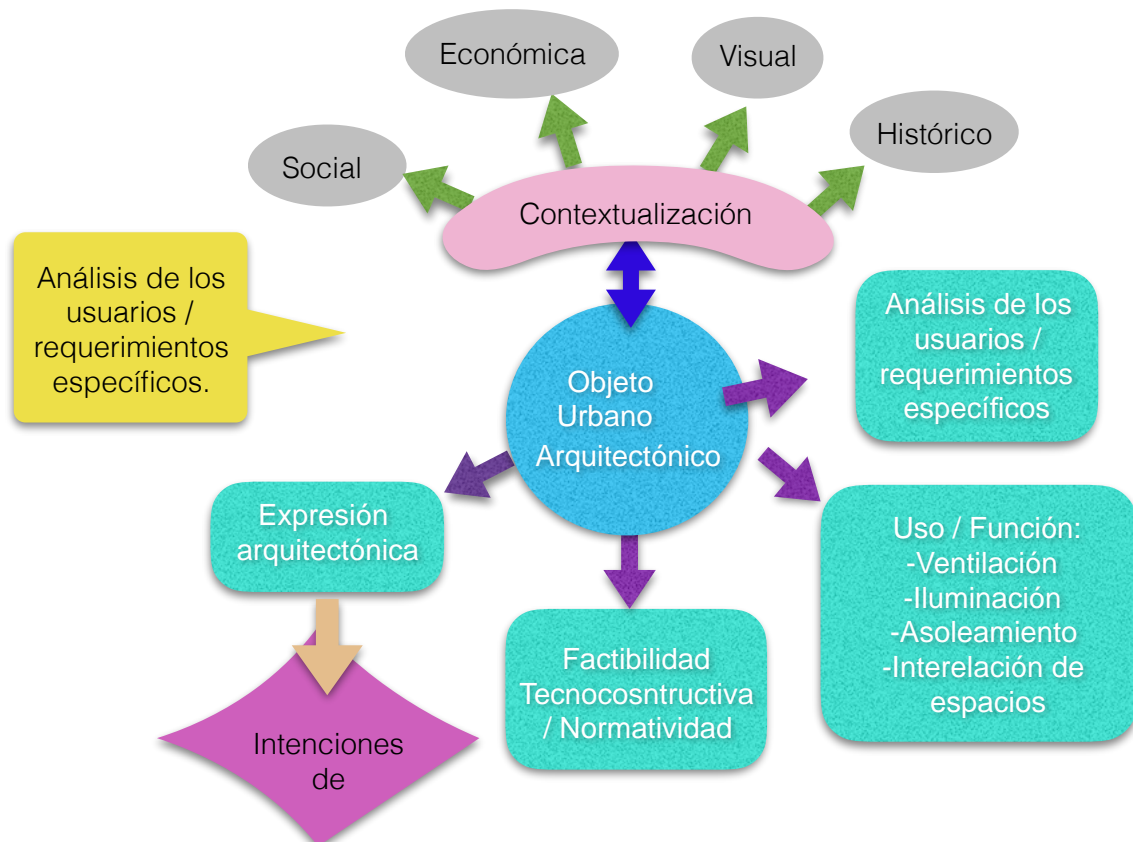
La forma es todo el conjunto de características que posee un objeto, que lo hacen ser eso y no otra cosa. Como es el caso de la figura, la cual es la apariencia física percibida por nuestra mente, con respecto a un objeto; y al verla o creer verla en otro objeto la asociamos a éste. De igual manera asociamos la arquitectura, y tenemos un cierto concepto de cada edificio y si tiene esa apariencia a la que nosotros asociamos le llamamos carácter. Sin embargo no necesariamente tiene que parecer lo que es para ser, por lo que la forma de un edificio no sólo depende del uso y del contexto, sino que también depende del gusto del cliente y el diseñador.

Y al ser este un conjunto de características, la forma de un edificio se basa en la disposición de sus elementos constructivos, su escala, su materialidad y geometría, por tanto la forma de un edificio es en sí su Sistema Estructural, puesto que el sistema estructural depende de cada uno de los anteriores.

Objetivos:

- que el lector comprenda la relación de la estructura con la forma del edificio.
- que de acuerdo a su proceso y método de diseño sepa cuándo es conveniente incluir la estructura, la cual debe ser simultánea al todo el proceso de diseño pues como ya se mencionó la estructura depende directamente de la forma del edificio y la forma se define durante todo el proceso de diseño.
- que incluya el criterio obtenido en el capítulo anterior para poder incorporar la elección del sistema estructural y por ende constructivo en el proyecto.

4.1.DETERMINANTES DE LA FORMA ARQUITECTÓNICA



4.2.PROCESO DE DISEÑO DE UN OBJETO ARQUITECTÓNICO

Existen diversos procesos de diseño debido a que cada proyectista usa el que mejor le acomode, en mi caso este es el que mejor resultado me ha brindado. El cual es aplicable únicamente cuando es obra nueva, en donde el proceso estructural surge desde el conocimiento del terreno, en cuanto a su resistencia.

- ➔ Parte de una demanda o una necesidad
- ➔ Se define la demanda por medio de un análisis e investigación.

Conocimiento de la demanda

- Estudio del sitio (orientaciones, clima, resistencia del terreno, dimensiones, etc.)
- Estudio de análogos o análisis tipológicos (para poder entender mejor la demanda y cómo es que ha funcionado o no ha funcionado este tipo de edificios en otros proyectos).
- Características de la demanda (requerimientos específicos para su funcionalidad).
- Análisis de los usuarios (cantidad y necesidad específicas).
- Deseos del cliente (cada cliente ya tiene inconscientemente una idea formal de lo que desea, aunque él mismo no lo sepa y para poder brindar un proyecto que le agrade es casi necesario conocer este deseo).

Enfoque e intenciones de diseño

Caracterización conceptual

- ➔ Primer acercamiento formal (planteamiento de formas que logren las intenciones de diseño con la aplicación de un sistema constructivo).

➔ Partido arquitectónico ➔ Esquema compositivo/aparición del sistema estructural y constructivo

➔ Primera imagen ➔ Desarrollo del anteproyecto

➔ Desarrollo del proyecto ejecutivo

Creación del objeto Urbano Arquitectónico

4.3.ELECCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL Y EL SUBSISTEMA

Un arquitecto que admiro y respeto mucho, siempre me dijo que “*la arquitectura ya está dada, sólo hay que saber leerla*”^{JGH}, y es que en mi opinión tiene mucha razón, pues depende de tantos factores que al darnos cuenta ya está determinada. A continuación veremos un ejemplo de lo que aquí les digo.

Conocimiento de la demanda

Si se nos presentara la siguiente demanda, donde se nos pide desarrollar un velatorio en el predio ubicado en Av. Aztecas y Rey Nezahualcóyotl MZ91 LT15BIS, en la colonia Ajusco, en la Ciudad de México, que corresponde a un lote en esquina con forma rectangular, dimensiones 17.8x24.15 orientación noreste y noroeste a una latitud de 19° con las siguientes demandas.



Programa Arquitectónico

- 3 salas de velación para 20 personas cada una
- una cafetería
- recepción
- exhibición y venta de féretros
- bodega de ferretros
- sala de preparación
- estacionamiento para visitantes
- sanitarios

Revisión de análogos

Para poder entender mejor las necesidades de un edificio, muchas veces es necesario visitar edificios análogos. En este caso yo visite los velatorios de San Fernando del ISSSTE, en donde encontré algunas cosas en particular que me gustaría evitar, como son mezclar circulaciones ya que en el estacionamiento para visitantes se encuentran los hornos de cremación, y creo que es una situación bastante incomoda ver y oler cómo sale el humo de los difuntos, una mala orientación de las circulaciones del público



Imagen 1. Ubicación geográfica conforme Google Earth.

y zonas comunes, provocando un efecto invernadero al interior y tener que cubrir las ventanas para tratar de evitar que los rayos solares incidan de manera directa.

Estudio del Sitio

Por la ubicación geográfica ya podemos determinar el tipo de suelo que posiblemente tendrá, gracias al mapa de zonificación geotécnica, el cual corresponde a una zona I, por sus coordenadas de Latitud 19°19'34"N y Longitud 99°09'24"W.

Por tanto será un terreno de lomeríos con una posible resistencia de 10-15ton/m², sin embargo siempre es bueno hacer un sondeo por la zona y un estudio de mecánica de suelos, ya que además de que no es completamente fiable el tipo de suelo por ubicación, en terrenos de piedra volcánica suelen encontrarse cavernas lo cual sería bastante catastrófico cimentar un edificio sobre una. Pero conociendo esta residencia del terreno y un sondeo de m² por el programa arquitectónico y una altura promedio respetando el contexto, tendremos un edificio de dos niveles por lo que su cimentación bien podría ser zapatas corridas.

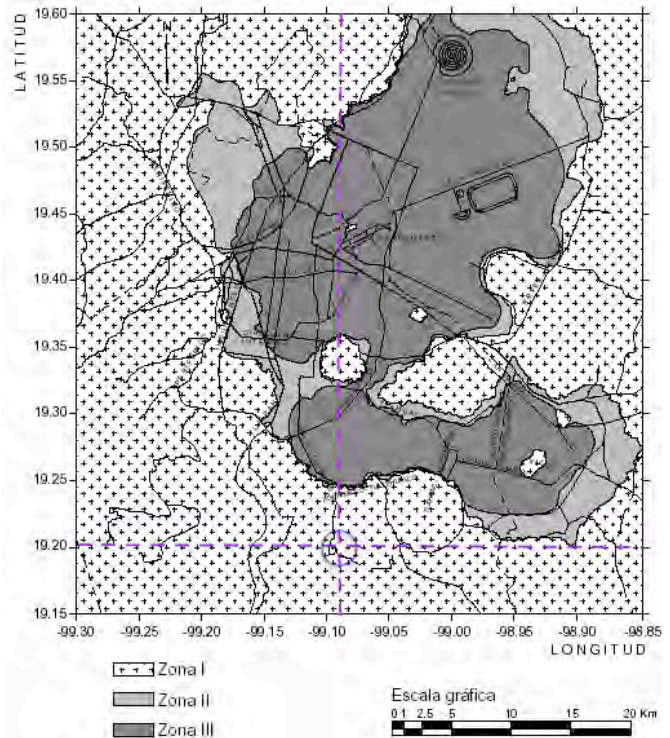


Imagen 2. Mapa de zonificación geotécnica.

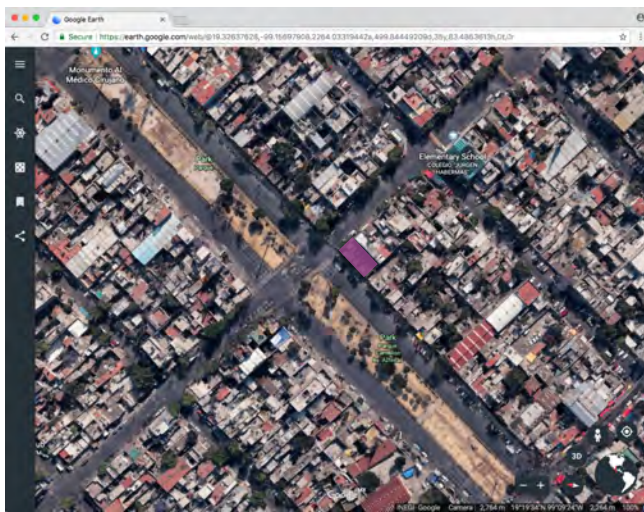


Imagen 3. Ubicación geográfica conforme Google Earth.

Al analizar el sitio, nos dicen que debemos dejar un área libre del 30% del predio, y más que libre, permeable, y que no podemos construir más de 3 niveles; por lo que

Captura de pantalla de un sistema de información geográfica que muestra información general del predio, su ubicación, un croquis y un cuadro de especificaciones de uso de suelo.

Información General

Cuenta Catastral: 059_599_30
 Dirección: Calle y Número: NETZAHUALCOYOTL L-14, Colonia: AJUSCO, Código Postal: 04300, Superficie del Predio: 428 m²

Ubicación del Predio

2009 © ciudadmx, seduvi
 Predio Seleccionado

USO DE SUELO

Uso del Suelo 1:	Niveles:	Altura:	% Área Libre	M2 min. Vivienda:	Densidad	Superficie Máxima de Construcción (Sujeta a restricciones*)	Número de Viviendas Permitidas
Habitacional con Comercio en Planta Baja, Ver Tabla de Uso	3	--	30	0	(Baja, 1 Viv cada 100 m ²)	898	4

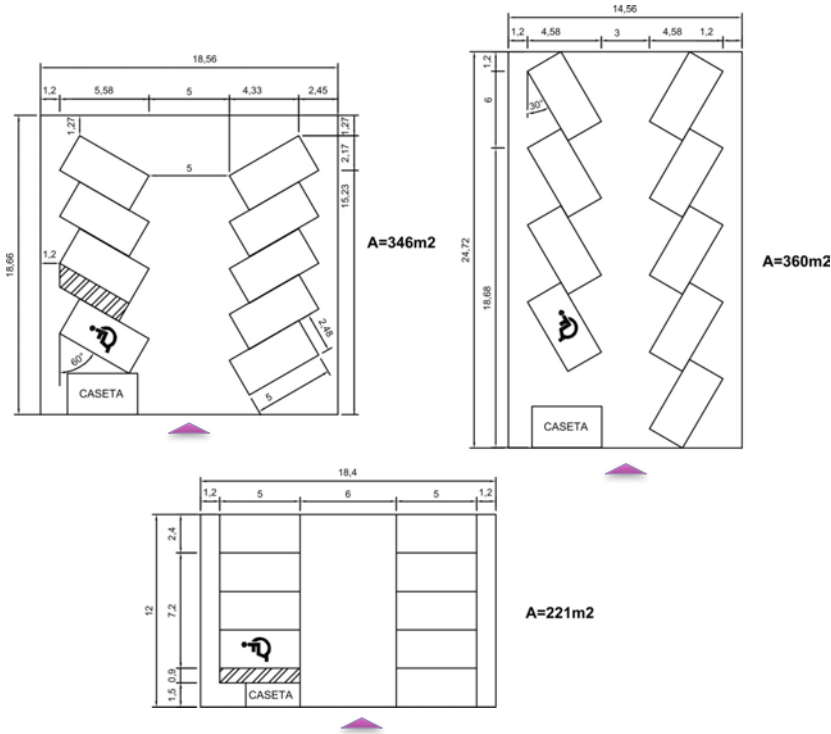
VERSIÓN DE DIVULGACIÓN E INFORMACIÓN, NO PRODUCE EFECTOS JURÍDICOS. La consulta y difusión de esta información no constituye autorización, permiso o licencia sobre el uso de suelo. Para contar con un documento de carácter oficial es necesario solicitar a la autoridad competente, la expedición del Certificado correspondiente.

Este croquis puede no contener las últimas modificaciones al predio, producto de fusiones y/o subdivisiones llevadas a cabo por el propietario.

Imagen 4. Uso de suelo respecto al predio.

mi punto para partir en un punto para mí importante en el proceso de diseño, es determinar si el programa arquitectónico requerido cabe en el predio, por lo que procedo a hacer un dimensionamiento aproximado de áreas, conforme las necesidades de cada local; proceso que además de saber si el proyecto es viable en el sitio destinado, nos apoyara en la zonificación de los espacios teniendo una mayor noción del las dimensiones requeridas para cada espacio.

Estudio de áreas



SUP. M2	Nº	USUARIOS	EQUIPO
221	1	DEUDOS	*CASETA *8 CAJONES *1 CAJÓN PARA PERSONAS EN SILLA DE RUEDAS.

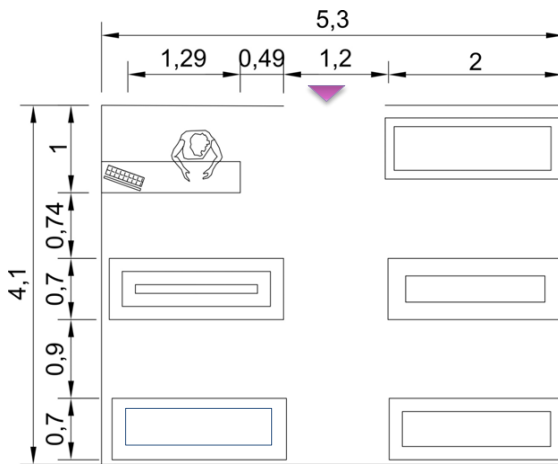
ORIENTACIÓN REC.	VENTILACIÓN NAT/ART.	ILUMINACIÓN NAT/ART.

AISLAMIENTO VISUAL	AISLAMIENTO ACÚTICO	NIVEL DE PRIVACIDAD
MODERADO	-----	BAJO

OBSERVACIONES:

*EL NÚMERO DE CAJONES SE CALCULO PARA 270M2 DE CONSTRUCCIÓN, CON UNA CAPACIDAD DE 60-100 VISITANTES EN EL VELATORIO.

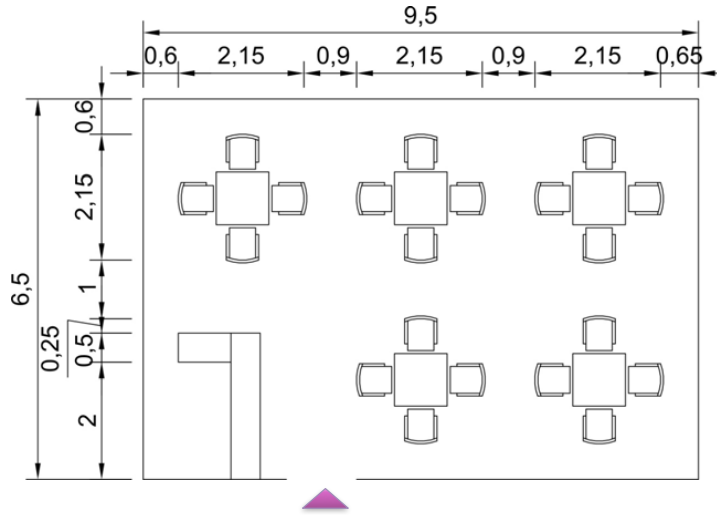
• **Estacionamiento:**



SUP. M2	Nº	USUARIOS	EQUIPO
25	1	*VISITANTES *1-2 VENDEDORES	*5 BASE PARA FÉRETROS *5 FÉRETROS *CAJA

ORIENTACIÓN REC.	VENTILACIÓN NAT/ART.	ILUMINACIÓN NAT/ART.
NORTE	MEDIA EN UN 17.5% / 6 CAMBIOS p/ HR	250 LUXES *LUZ BLANCA
AISLAMIENTO VISUAL	AISLAMIENTO ACÚTICO	NIVEL DE PRIVACIDAD
MEDIO	-----	S. PÚBLICO

• **Exhibición de féretros:**



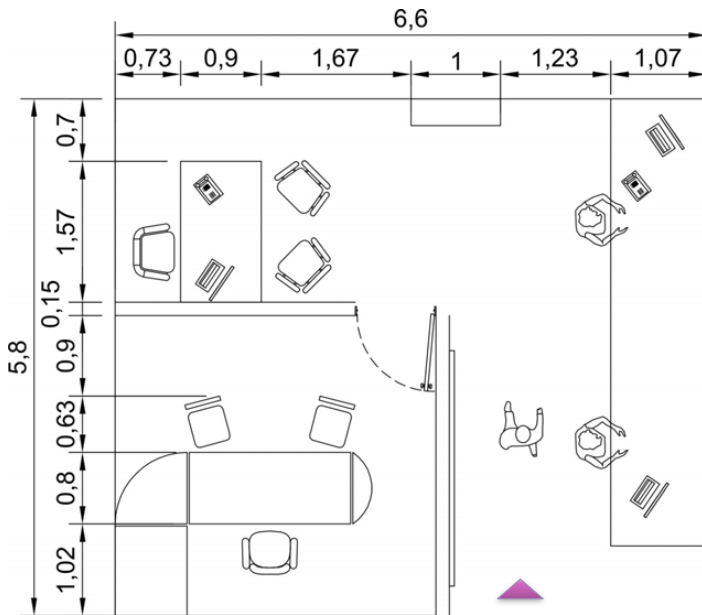
• **Cafetería:**

SUP. M2	N°	USUARIOS	EQUIPO
62	1	APRÓX. 20 VISITANTES	*5 MESAS *20 SILLAS *BARRA DE PREPARACIÓN *BARRA DE ATENCIÓN *CAJA

ORIENTACIÓN REC.	VENTILACIÓN NAT/ART.	ILUMINACIÓN NAT/ART.
NORESTE	CRUZADA EN UN 15% / 25 CAMBIOS C/HR	1/3 / 250 LUXES
AISLAMIENTO VISUAL	AISLAMIENTO ACÚSTICO	NIVEL DE PRIVACIDAD
-----	A PARTIR DE LOS 65dB	PÚBLICO

OBSERVACIONES:

*SE RECOMIENDA UNA ILUMINACIÓN CÁLIDA, Y UN NIVEL DE RUIDO NO MAYOR A 55dB.



• **Administración y Atención a los Visitantes:**

SUP. M2	N°	USUARIOS	EQUIPO
38	1	*ADMIN. ASISTENTE PARA EL ADM. *ATENCIÓN A VISITANTES	ÁREA DE INFORMES: *BARRA *CAJA OFICINA P/ADM. Y CÚBICULO P/ASISTENTE: *ESCRITORIOS *SILLAS PARA ESCRITORIO

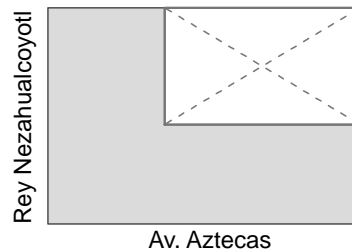
ORIENTACIÓN REC.	VENTILACIÓN NAT/ART.	ILUMINACIÓN NAT/ART.
NORTE	FLUIDA EN UN 20% / 6 CAMBIOS C/HR.	1/3 / 300 LUXES *LUZ BLANCA.
AISLAMTO. VISUAL	AISLAMIENTO ACÚSTICO	NIVEL DE PRIVACIDAD
MEDIA	ALTO N. DE RUIDO 50dB	ATENCIÓN PÚB, ASISTENTE SM Y ADMINIDOR. PRIV.

OBSERVACIONES:

*Por ser zonas interrelacionadas, las tres anteriores se considerarán en un solo bloque.

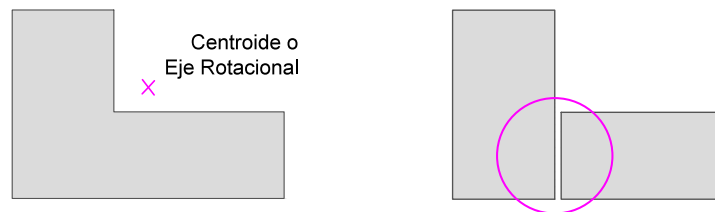
Características de la demanda

Por otro lado, una vez obtenido los metrajés necesarios y las características básicas de funcionalidad, me gusta revisar cuáles son mis intenciones de diseño. Por lo que yo considero que durante el momento de una pérdida las personas se encuentran devastadas emocionalmente, por tanto en lo personal me gustaría brindarles tranquilidad por medio de la arquitectura, generando vistas agradables, grandes entradas de luz, dobles alturas y sobre todo permitir un contacto directo con la naturaleza, tanto visual como salir a un lindo jardín a relajarse. Por lo anterior, yo propondría un esquema en “L”, que me permita brindar este contacto con la naturaleza, generando un gran patio al interior visible desde cualquier punto en donde se encuentren los visitantes y una mejor iluminación y buena ventilación del lugar.

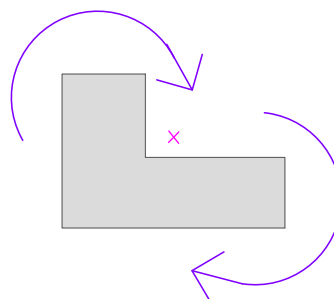


Teniendo este esquema mi diagrama de circulación la dividiría en dos, al exterior del edificio con una doble fachada para evitar el asoleamiento del suroeste en Av. Aztecas y al mismo tiempo brindar privacidad para la transportación del féretro, y la del público al interior en contacto directo con el jardín para poder entonces disfrutar de estas vistas.

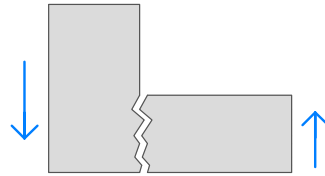
Y es aquí entonces donde simultáneamente e inconscientemente ya se está proponiendo un sistema estructural, pues ya sé que mi esquema será en “L”, por lo que se requerirá de una junta constructiva. Evitando así sacar el eje de rotación del volumen del edificio y con ello aumentar el momento de volteo, es decir que habrá que hacer un equilibrio de masas y formas para lograr su estabilidad.



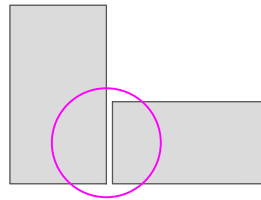
Es decir, que en un triángulo el centroide o en este caso el eje de rotación queda fuera del elemento, lo que generaría que el edificio pretendiera hacer esto.



Provocando una falla por cortante en su unión.



Por lo que es mejor crear intencionalmente una separación estructural en el edificio, es decir, crear lo que erróneamente conocemos como “junta constructiva”¹.



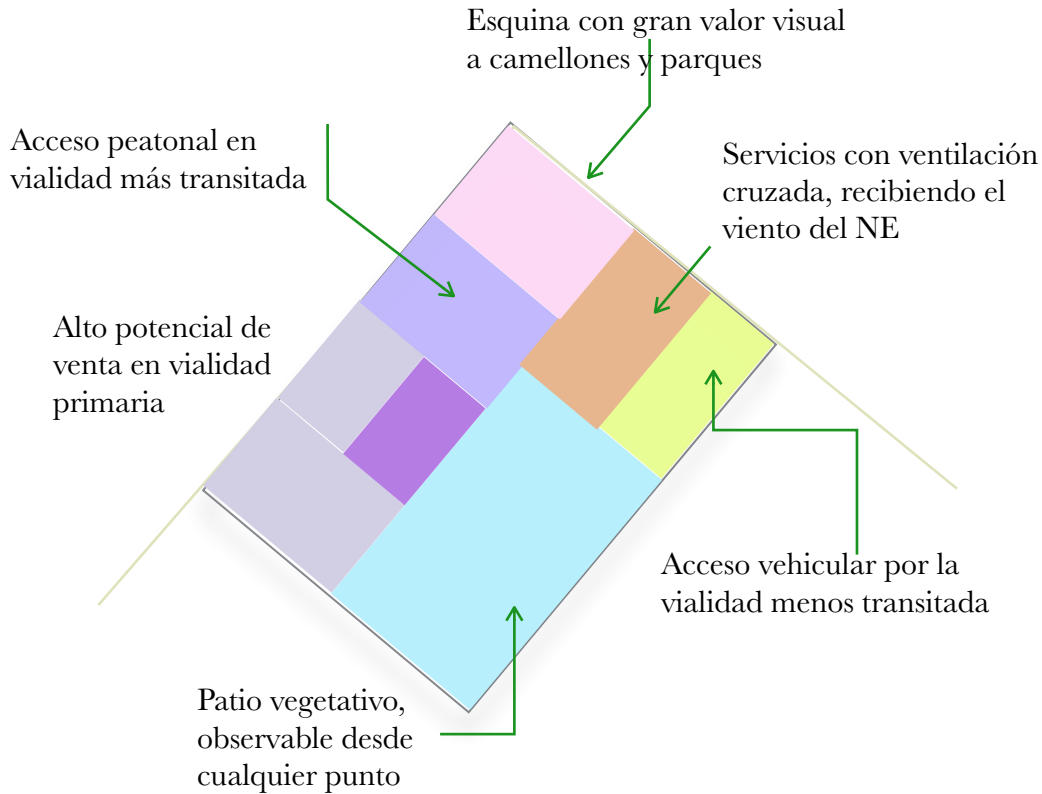
De la misma manera, en este momento ya podemos saber que la estructura muy probablemente y por lógica sea a base de marcos rígidos para poder crear estos grandes ventanales con vistas a un hermoso jardín



Por las dimensiones del predio sabemos que lo ideal es poner un estacionamiento en sótano para evitar perder espacio en planta baja, y por motivos de ventilación e iluminación yo optaría por un semi-sótano. También sabemos que por normativa el acceso vehicular del público deberá ser por la vialidad menos transitada, buscando generar el menor tránsito posible.

¹ A las separaciones en edificios por exceso de longitud o por su forma, se les conoce como juntas constructivas, aunque en mi opinión debería llamarse “separación constructiva”.

El punto más valioso de este tipo de predios es su esquina, ya que tiene una visual desde ambas vialidades y desde el interior se puede apreciar casi todo su entorno inmediato, por tanto yo generaría el acceso principal en la esquina a manera de pancoupé. Y entonces al revisar estas requisiciones nos damos cuenta que ya tenemos un esquema de zonificación.



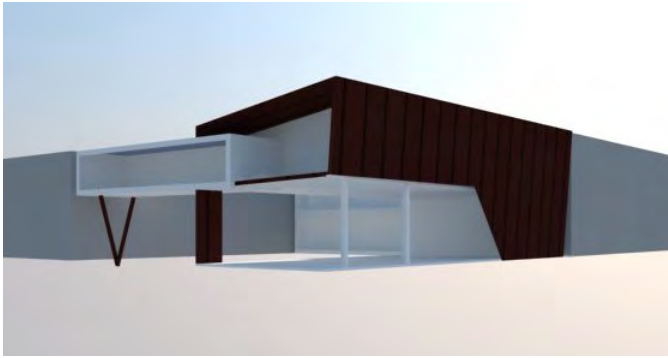
Algo sumamente esencial en el buen funcionamiento de un velatorio, es la separación de circulaciones, entre las de servicio de las de los usuarios, así como su franco recorrido, siempre evitando que dichas circulaciones jamás se crucen, además de brindar la privacidad necesaria a las de servicio.

SIMBOLOGÍA DE FLUJOS

- Recorrido de deudos en auto
- Recorrido de deudos a pie
- Transporte del difunto

Primera imagen

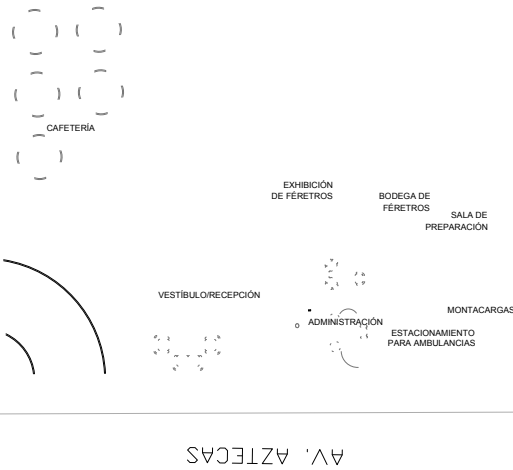
Una vez revisados los requerimientos por funcionalidad y las intenciones que queramos darle al proyecto, así como las dimensiones, procedo a plantear algunas primeras ideas, de cómo se podría solucionar el proyecto y obtener así una primera imagen del proyecto.



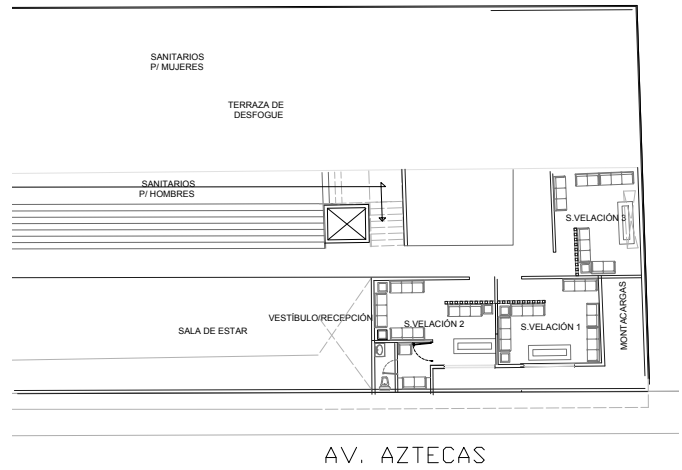
Primer imagen formal del edificio

Ⓞ

Primeros bosquejos del estacionamiento en Semisótano.



Primer zonificación de los componentes en Planta Baja.



Primer zonificación de los componentes en Planta Alta.

Desarrollo del Anteproyecto

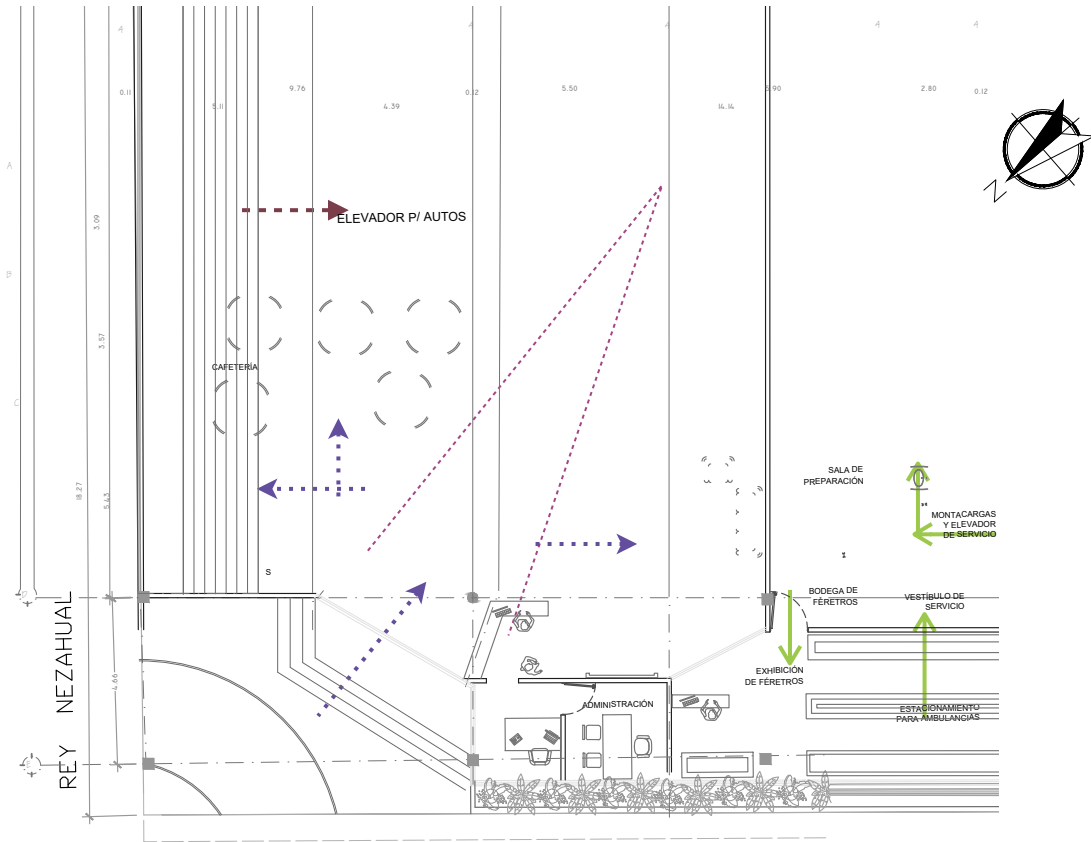
Una vez obtenidas las primeras propuestas, reviso la factibilidad de las mismas y si hay que modificar algo o en su defecto desechar; para así poder obtener un anteproyecto con un criterio estructural y de instalaciones los cuales se desarrollarán con el cálculo estructural y el proyecto ejecutivo en sus respectivos casos.

Para este proyecto decidí colocar el acceso y una estancia común y terraza justo en la esquina, dándole gran valor visual a la misma.

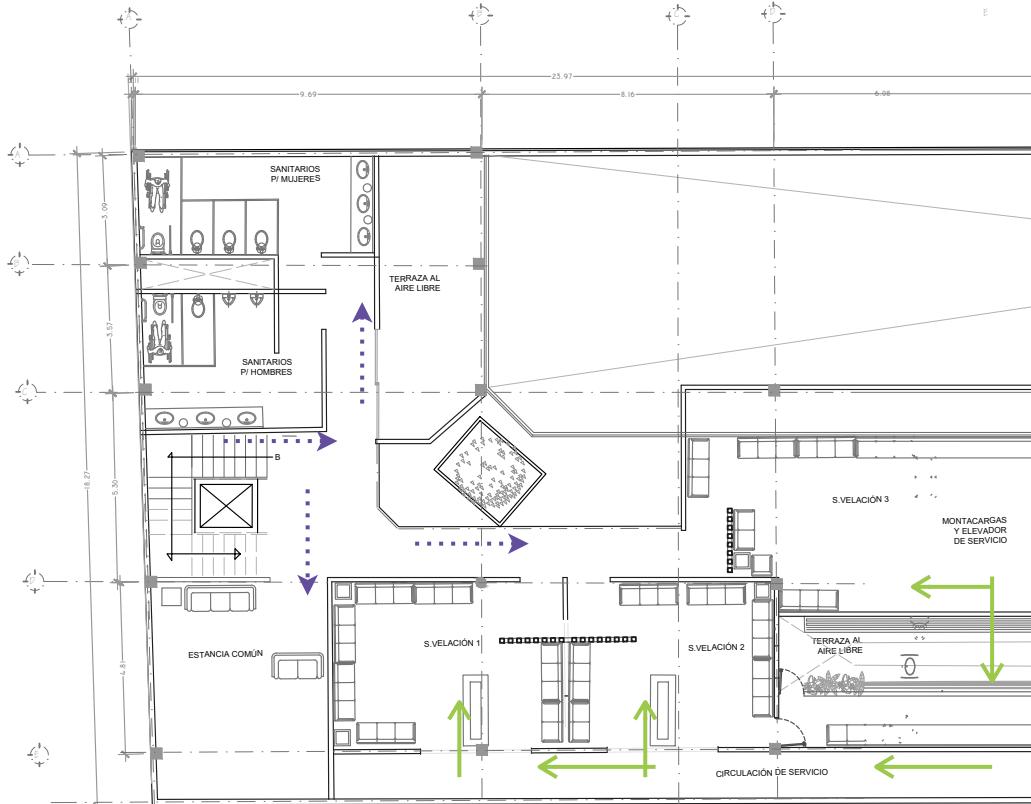
Opte por un esquema en L, generando un patio interno produciendo vistas agradables desde todas las circulaciones para los usuarios, las cuales sirven como zonas de desfogue y descanso, mientras que los servicios los coloque en ambas fachadas dando la privacidad que éstos requieren.

Mediante el uso de tecnologías como eleva-autos se optimizó el espacio, logrando dar un uso adecuado al edificio.

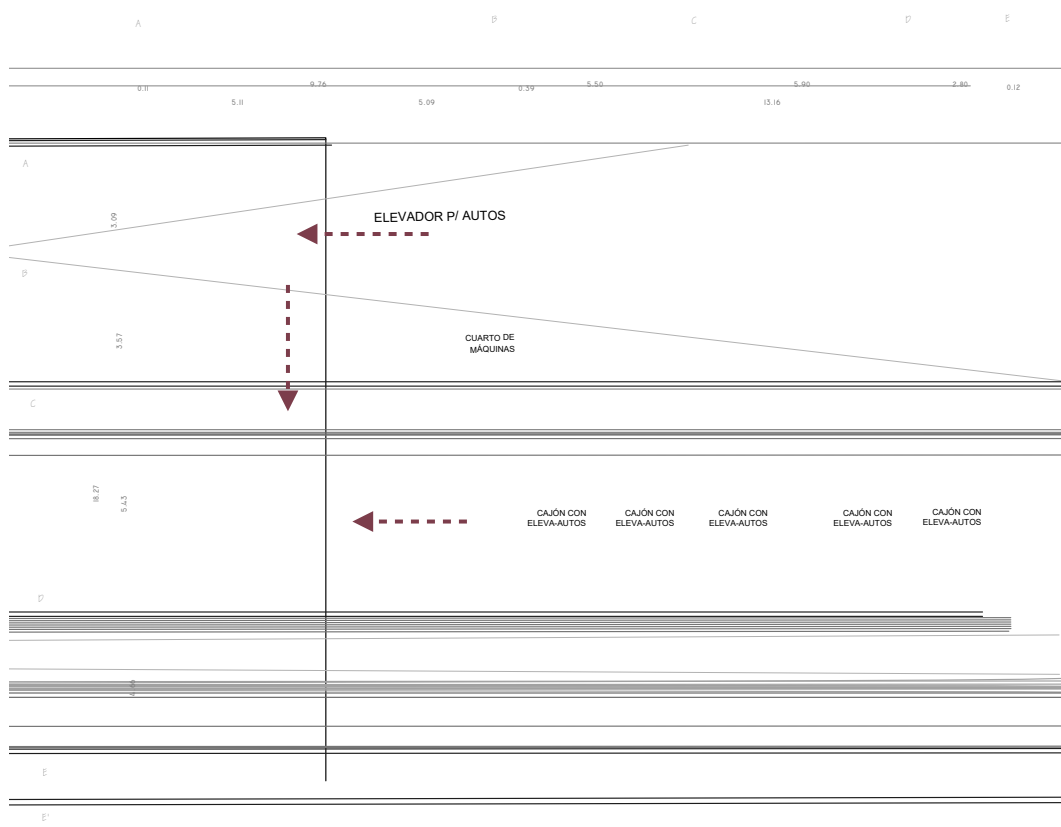
Se observa que el sembrado de columnas se determina al mismo tiempo que se está configurando el espacio y en función del mismo, en este caso los entre ejes fueron generados a partir de las necesidades de uso en el estacionamiento.



PLANTA BAJA



PRIMER NIVEL



SÓTANO



RESULTADO FORMAL

5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

El análisis del sistema consiste en analizar las cargas del edificio y su forma, revisando un equilibrio entre sus masas en caso de no estar equilibrado

Objetivos:

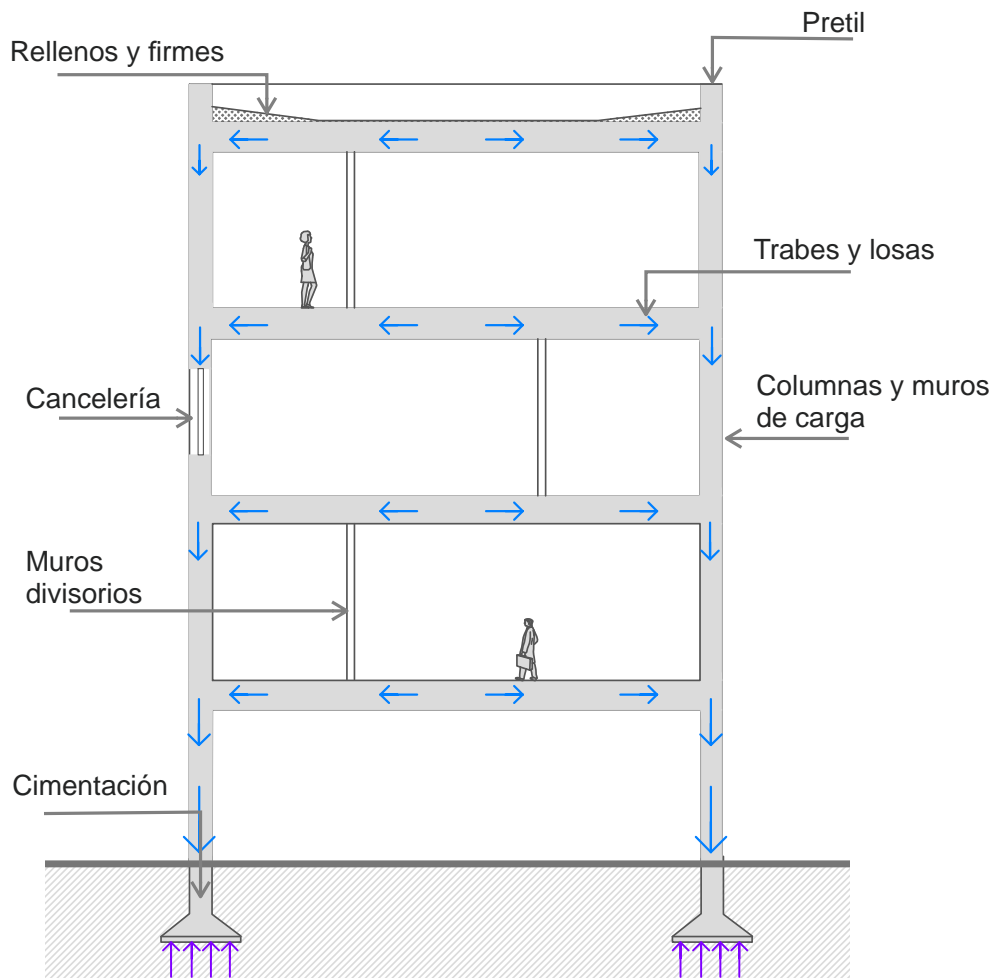
- Que el arquitecto identifique las cargas que estarán actuando sobre el edificio para diseñar la estructura conforme a los esfuerzos que estará sometida.
- Que comprenda la manera en la que se distribuyen y transmiten las cargas.
- Que de un dimensionamiento de los elementos estructurales, propio del peso del edificio.

BAJADA DE CARGAS

Se le conoce como bajada de cargas al análisis de la transmisión de cada una de las fuerzas que inciden sobre el edificio, generadas por el peso propio del edificio.

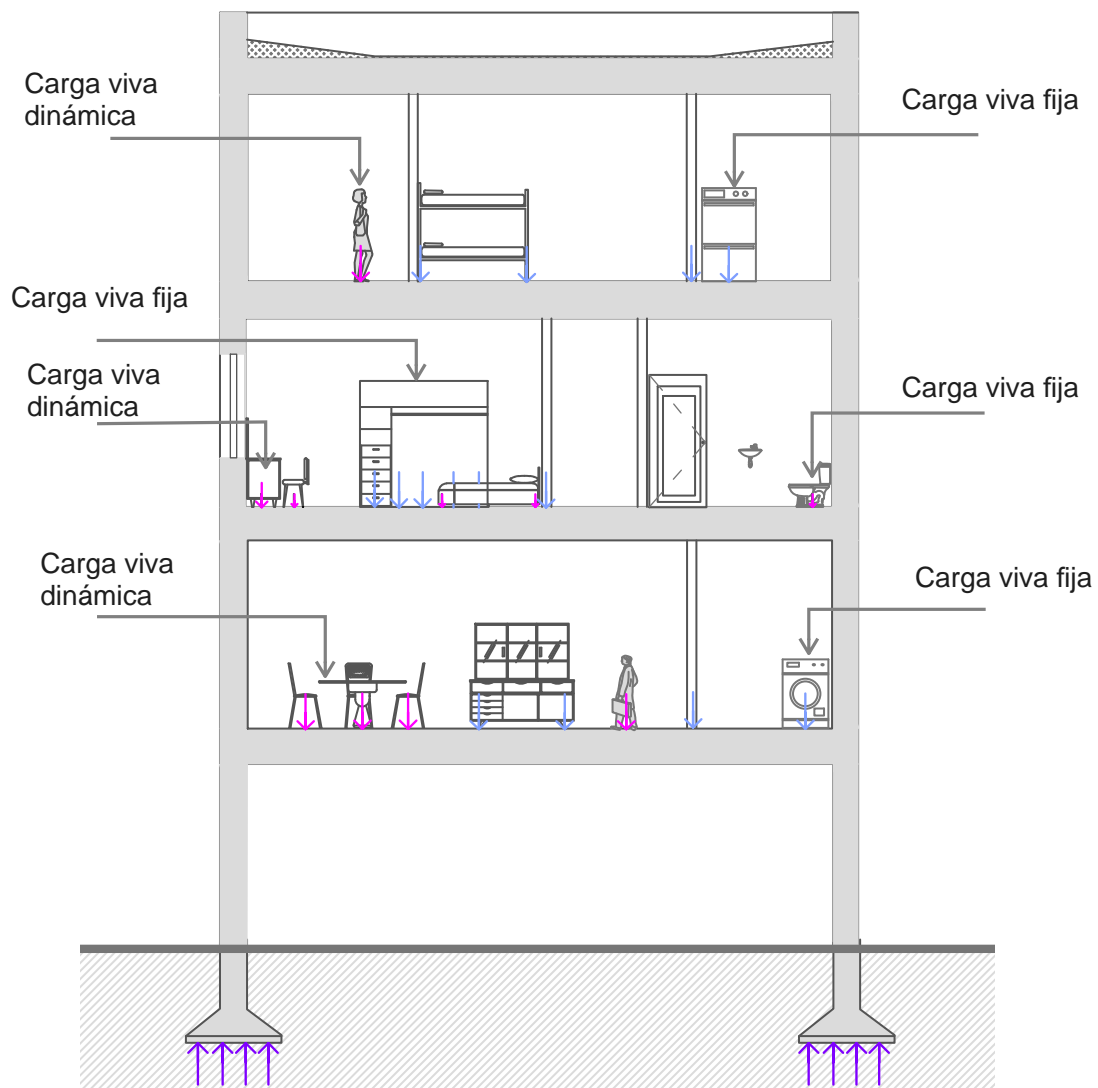
Cargas Muertas

Se le conoce como cargas muertas a todo el peso del edificio generado por sus elementos estructurales y divisorios, que configuran el espacio, es decir aquellas cargas que por determinación del edificio estarán presentes y nunca se modificarán.



Cargas Vivas

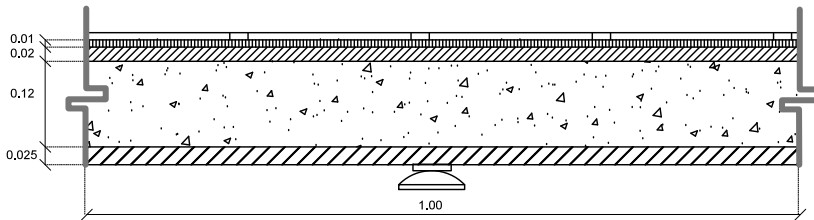
Se conocen como cargas vivas a todas aquellas cargas que tienen la posibilidad de moverse, como lo son el mobiliario y los usuarios, sin embargo, esta clasificación también se divide en dos, ya que existe mobiliario que por sus dimensiones o por su peso no suelen moverse o bien porque se encuentran empotrados o dependen de la ubicación de las instalaciones, sin embargo esto no es algo que influya demasiado para el diseño estructural, ya que como en la arquitectura los edificios suelen cambiar de uso, o bien no sabemos la cantidad de mobiliario y personas que se encuentren o donde estén ubicados, se saca un estimado de acuerdo a cada uso para el que será destinado el edificio, las cuales las define el reglamento.



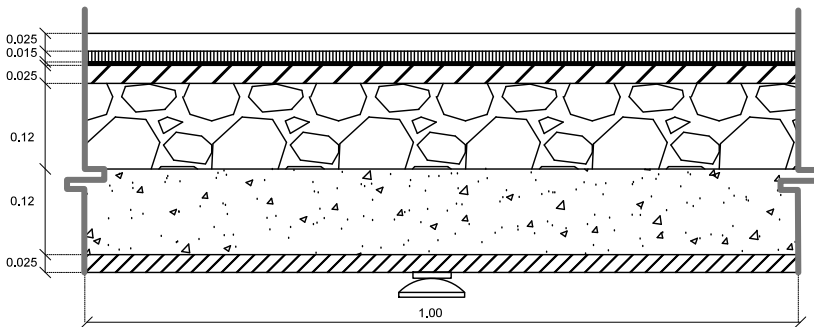
Sin embargo en muchas ocasiones cuando el edificio tiene potencial para convertirse en oficinas, prefiero calcular la estructura como si fuese a ser oficinas, ya que es muy común que exista este cambio de uso y la estructura se ve afectada al tener un mayor peso que el que para fue diseñada.

Análisis de Cargas Muertas

El análisis de cargas se lleva a cabo determinando una sección de un metro cuadrado, para conocer los materiales, la cantidad de ellos y el peso total de esta sección, como se muestra a continuación.



LOSETA		35kg/m2
ARGAMASA DE COLOCACIÓN	$0.01 \cdot 1T/m2 =$	10kg/m2
ENTORTADO	$0.02 \cdot 2T/m2 =$	40kg/m2
LOSA		$0.12 \cdot 2.4T/m2 = 288kg/m2$
APLANADO DE YESO		$0.025 \cdot 1.5T/m2 = 37.5kg/m2$
LUMINARIA		10kg
TOTAL DE CARGA MUERTA		420.50kg/m2
CARGA VIVA		170.00kg/m2
CARGA ACCIDENTAL		40.00kg/m2
CARGA TOTAL M2		630.50kg/m2



ENLADRILLADO		$0.025 \cdot 1,100T/m3 = 27.5kg/m2$
ARGAMASA DE COLOCACIÓN	$0.015 \cdot 1T/m3 =$	15kg/m2
IMPERMIABILIZANTE		10kg/m2
ENTORTADO	$0.25 \cdot 30T/m3 =$	60kg/m2
RELLENO		$0.12 \cdot 0.9T/m3 = 108kg/m2$
LOSA		$0.12 \cdot 2.4T/m3 = 288kg/m2$
APLANADO DE YESO		$0.025 \cdot 1.5T/m3 = 37.5kg/m2$
LUMINARIA		10kg/m2
TOTAL DE CARGA MUERTA		556kg/m2
CARGA VIVA		100kg/m2
CARGA ACCIDENTAL		40kg/m2
CARGA TOTAL M2		696.00kg/m2

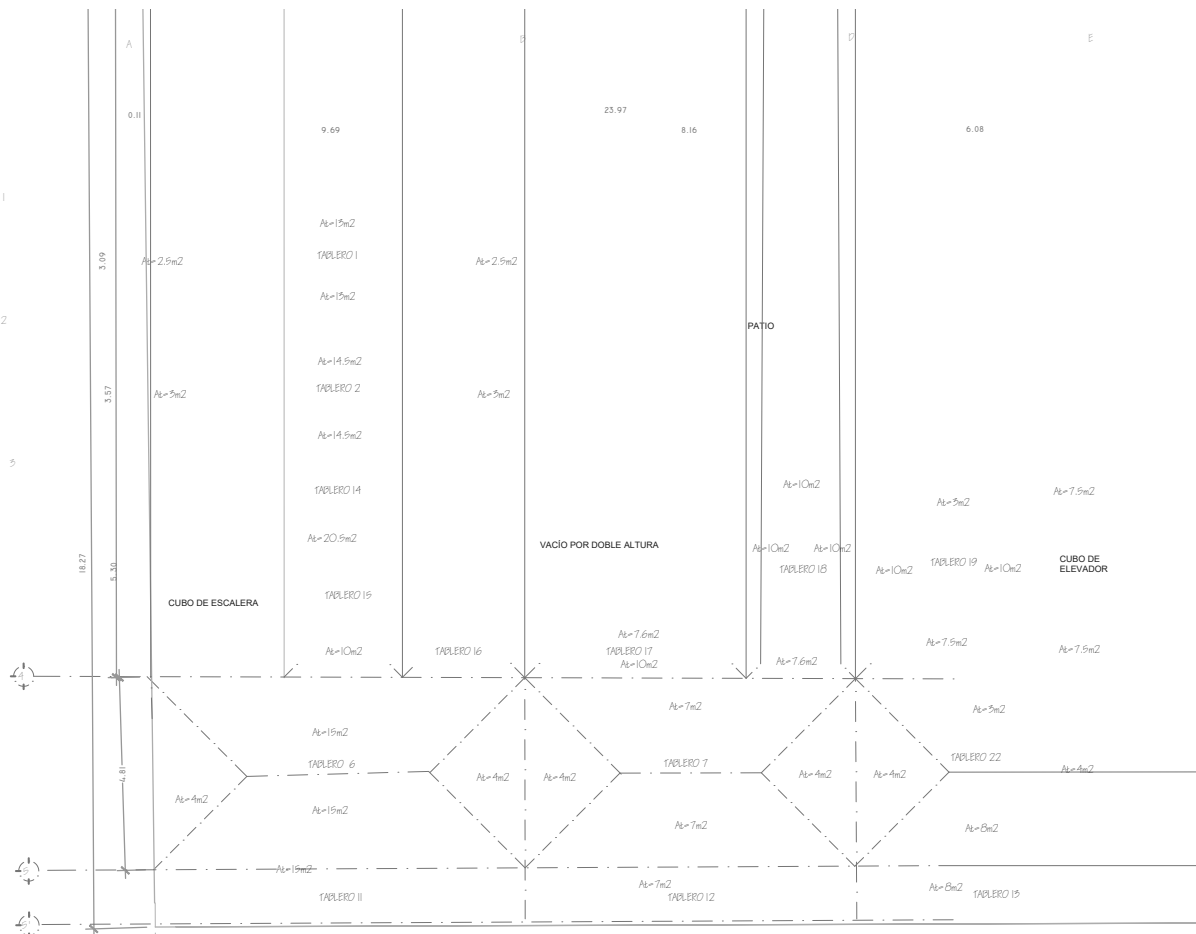
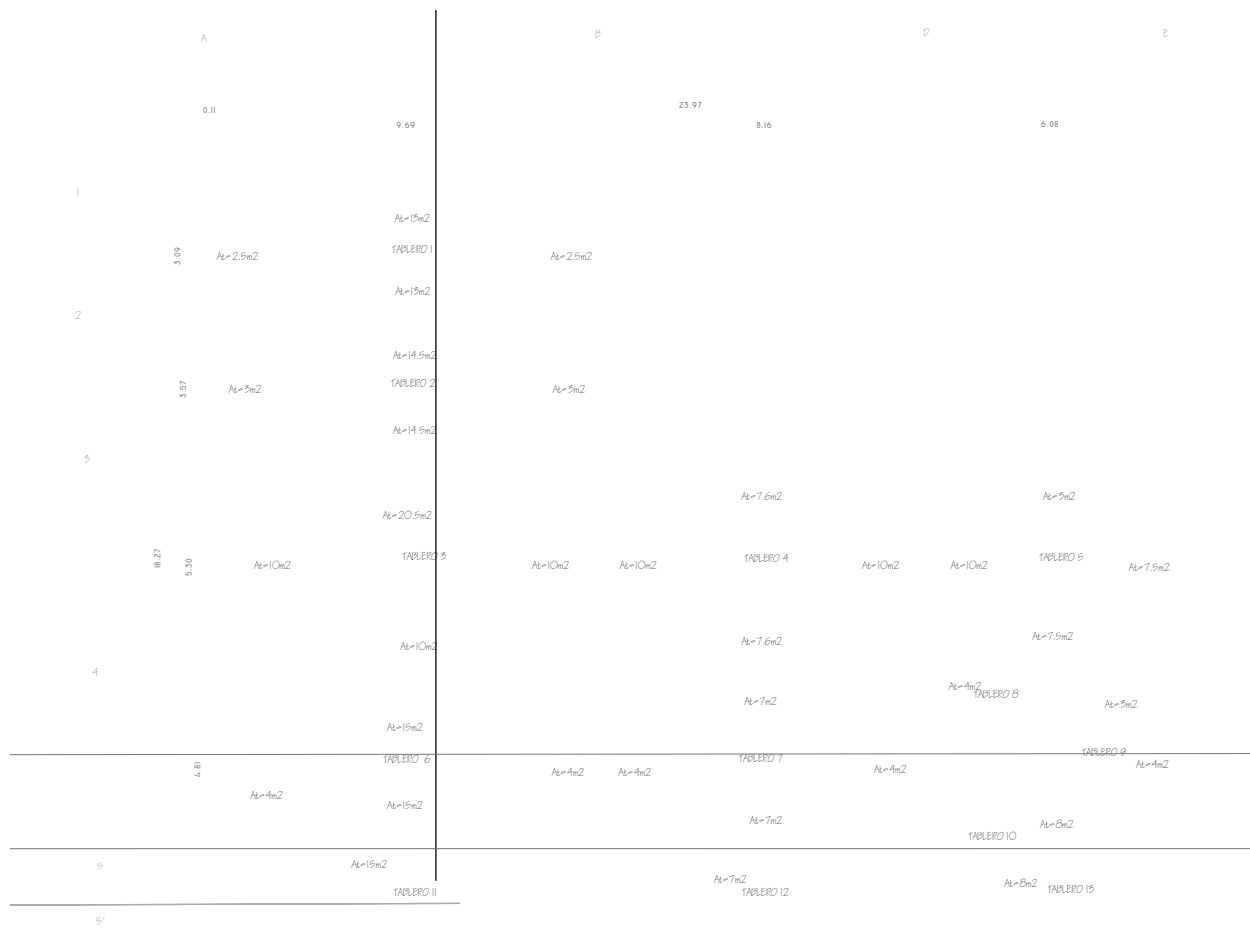
Cargas de Diseño

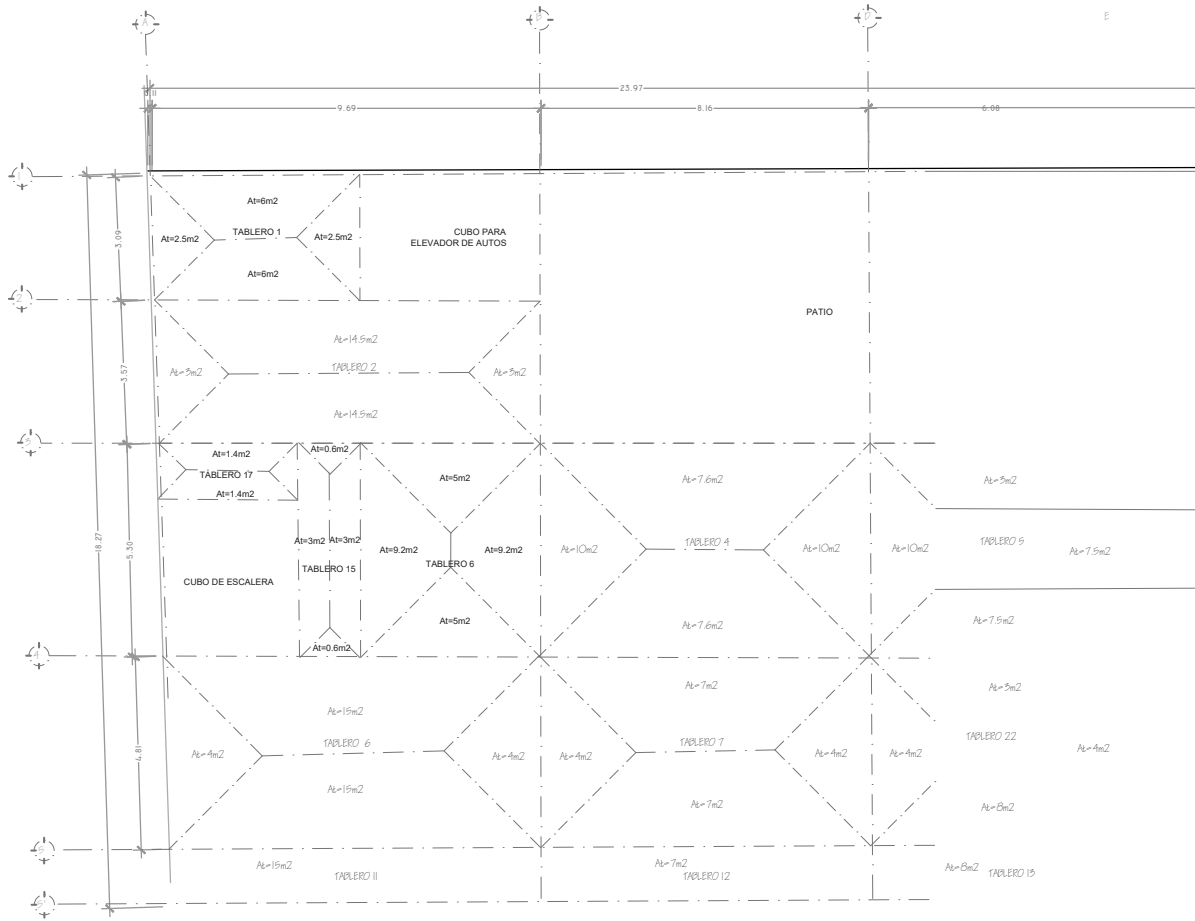
Es importante considerar que éstas no son todas las cargas que intervienen en las estructura de un edificio, sino que también deben considerarse las cargas accidentales¹, como lo son el sismo y viento en el caso de los edificios de gran altura, pero para poder conocer estas cargas es necesario primero conocer las cargas permanentes o comunes en el inmueble.

Áreas Tributarias de losas cargadas por las trabes

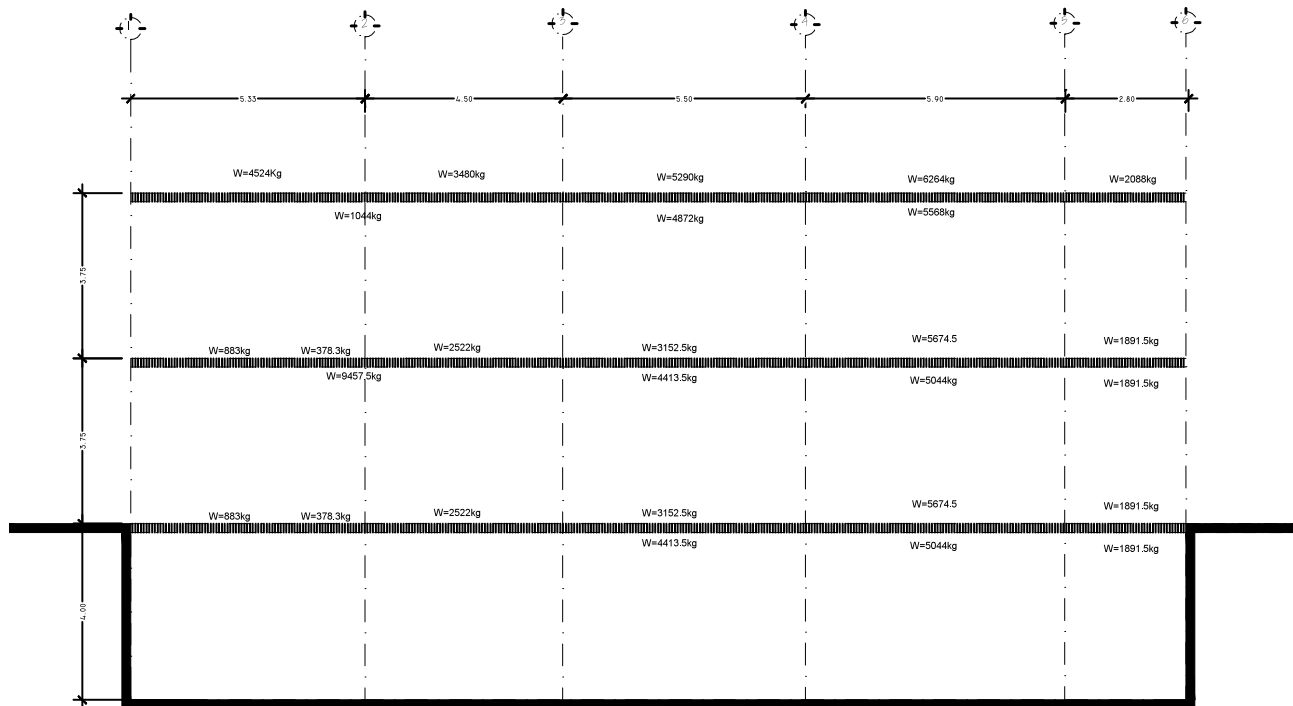
Posteriormente en el caso de losas rectangulares se traza sus áreas tributarias y se multiplica dicha área por el peso por metro cuadrado del análisis previo, para así conocer las cargas a las que estarán sometidas las trabes y las columnas.

¹ Son las cargas que ocasionalmente pueden llegar a incidir en un edificio, como el sismo, y la estructura debe ser capaz de resistir a ellas.



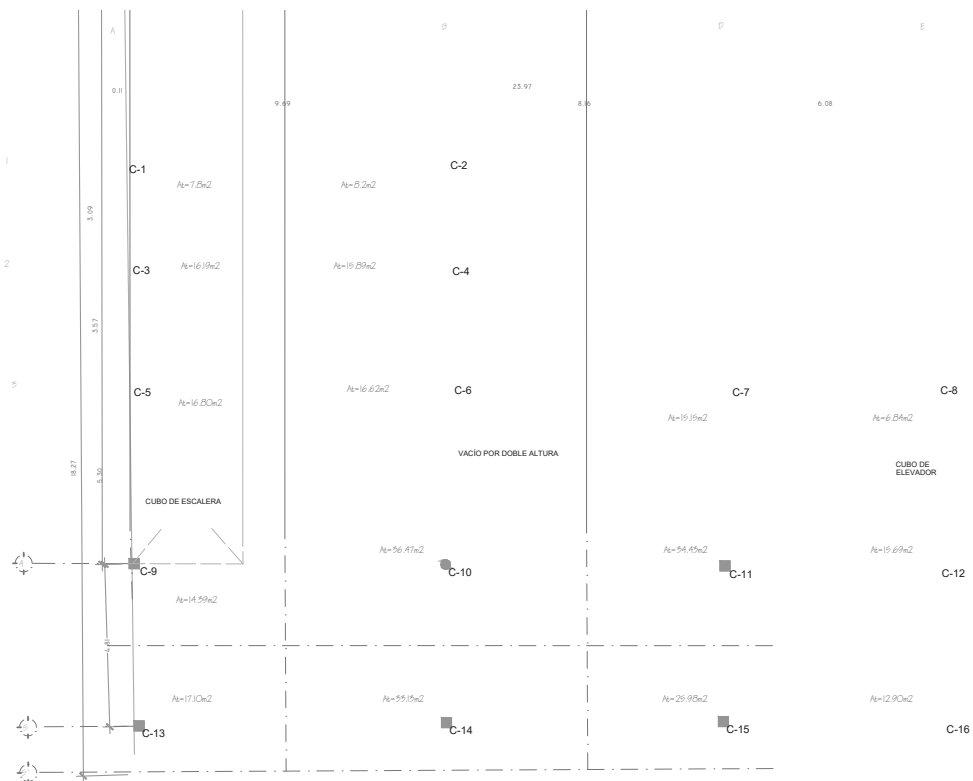
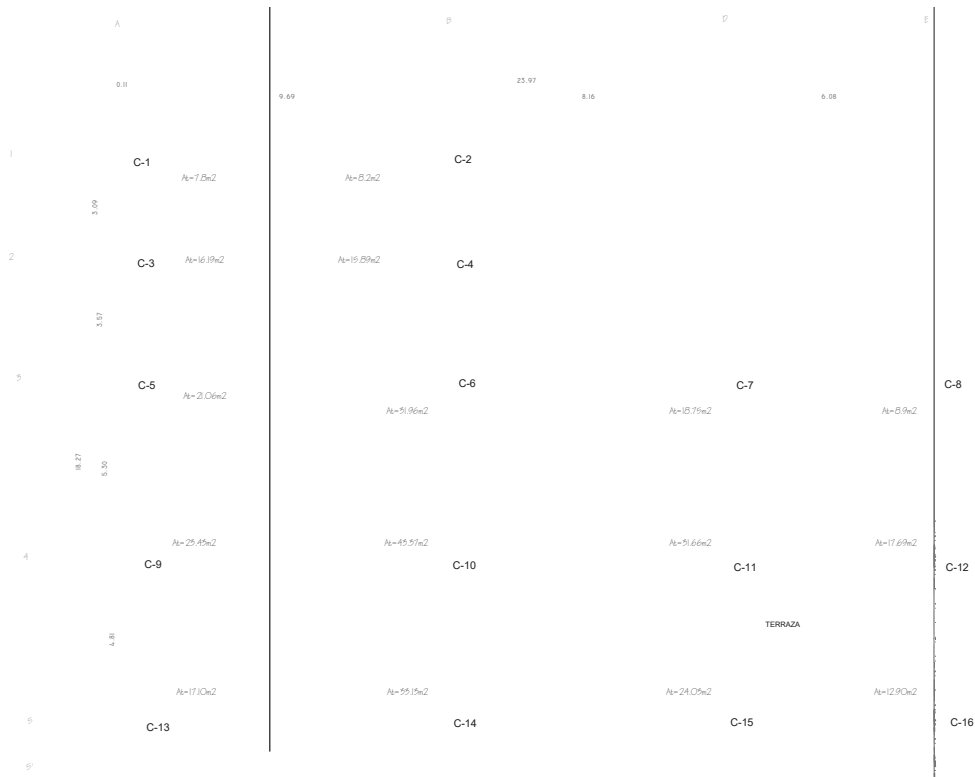


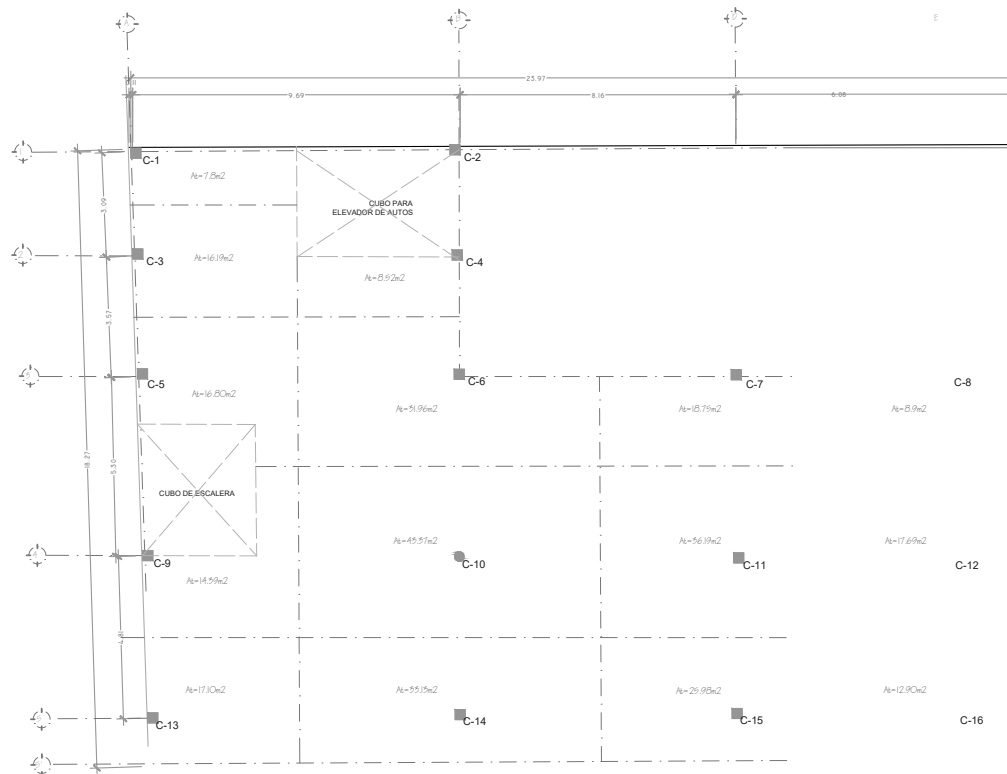
Y una vez identificada el área de los tableros que cargará cada una de las traves es muy conveniente colocarlas en un corte en cada uno de los ejes para identificar más fácilmente las cargas que están actuando en cada viga, como se muestra a continuación.



Áreas Tributarias en losas cargadas por las columnas

Aunque en teoría la mitad del área tributaria que cargan las traveses la cargan las columnas, es conveniente para un mayor entendimiento hacer el siguiente diagrama:





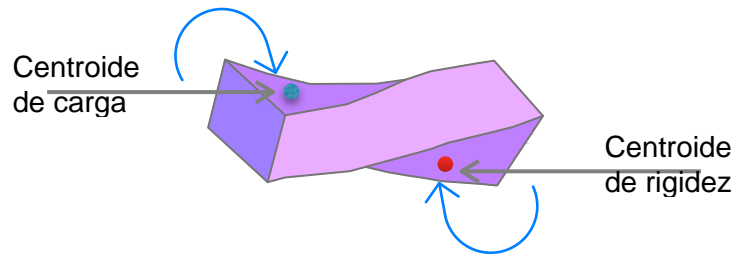
Y a manera de resumen elaborar una tabla con las cargas de cada columna.

COLUMNA	ÁREA TRIBUTARIA EN AZOTEA	ÁREA TRIBUTARIA EN ENTREPISO	ÁREA TRIBUTARIA EN PLANTA	CARGA DE AZOTEA	CARGA DE ENTREPISO	CARGA TOTAL
C-1	7.8	7.8	7.8	696	630.5	15264.60
C-2	8.2	8.2	0	696	630.5	10877.30
C-3	16.19	16.19	16.19	696	630.5	31683.83
C-4	15.89	15.89	8.5	696	630.5	26437.34
C-5	21.06	16.8	16.8	696	630.5	35842.56
C-6	31.96	16.62	31.96	696	630.5	52873.85
C-7	18.75	15.15	18.75	696	630.5	34423.95
C-8	8.9	6.84	8.9	696	630.5	16118.47
C-9	23.43	14.39	14.39	696	630.5	34453.07
C-10	43.37	36.47	43.37	696	630.5	80524.64
C-11	36.19	34.43	31.66	696	630.5	66857.99
C-12	17.69	15.69	17.69	696	630.5	33358.33
C-13	17.1	17.1	17.1	696	630.5	33464.70
C-14	33.13	33.13	33.13	696	630.5	64835.41
C-15	25.98	25.98	24.03	696	630.5	49613.39
C-16	12.9	12.9	12.9	696	630.5	25245.30
CARGA TOTAL DEL EDIFICIO						611874.72

EXCENTRICIDAD DE UN EDIFICIO Y SU MOMENTO DE VOLTEO

Una vez conocido el peso del edificio mediante la elaboración de la bajada de cargas, es necesario revisar que las cargas estén equilibradas, o en su defecto equilibrarlas, con el objetivo de evitar que el edificio se vuelque como veíamos en los ejemplos del edificio con volado en los Antecedentes.

Para que un edificio sea perfecto estructuralmente hablando, sus centros de gravedad y de rigidez deben estar en el mismo punto, evitando generar torsiones al recibir el empuje del sismo en el edificio en puntos distintos, como en la siguiente imagen, recordando que la torsión ocurre cuando dos fuerzas contrarias tienden a hacer girar el elemento en sentidos opuestos.



CENTROIDES DE CARGA

El centroide de carga es el centro de gravedad de un edificio, el punto más pesado del mismo, y el edificio tendrá una mejor estabilidad mientras más cerca se encuentre el centroide del centro de la planta del edificio y lo más cercano al terreno, ya que mientras más se aleje generara un péndulo aumentando el brazo de palanca y el empuje del edificio.

Para conocer el centroide de carga de un edificio es necesario conocer su peso y la ubicación de sus apoyos, por lo que una vez realizando la bajada de cargas aprovecharemos estos valores para conocer el centro de gravedad del edificio.

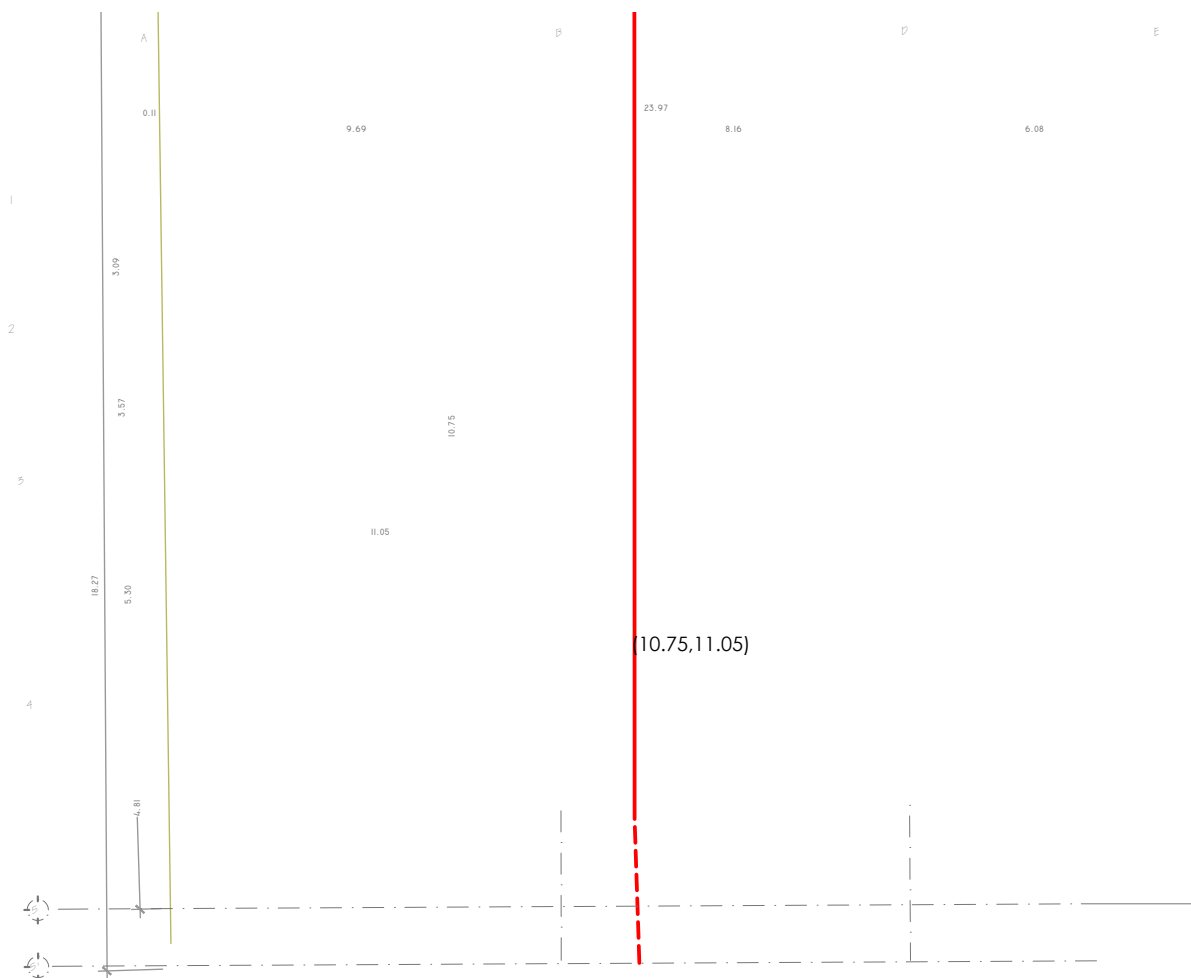
EJE	CARGA DE COLUMNAS (KG)				CARGA EN EJE WI (TON)	DI (M)	DI*WI
1	C-1	C-2					
	15,264.60	10,877.30			26,141.90	0.00	0.00
2	C-3	C-4					
	31,683.83	26,437.34			58,121.17	3.09	179594.400
3	C-5	C-6	C-7	C-8			
	35,843	52,874	34,424	16,118	139,258.83	6.65	926071.220
4	C-9	C-10	C-11	C-12			
	34453.07	80524.64	66,857.99	33,358.33	215,194.03	11.95	2571568.599
5	C-13	C-14	C-15	C-16			
	33464.70	64835.41	49,613	25,245.30	173,158.80	16.8	2902141.404
				611,874.72			6579375.622

$$Y_c = \frac{6579375.62}{611,874.72} = 10.7528$$

<i>EJE</i>	<i>CARGA DE COLUMNAS (KG)</i>					<i>CARGA EN EJE WI (TON)</i>	<i>DI (M)</i>	<i>DI*WI</i>
A	C-1	C-3	C-5	C-9	C-13			
	15,264.60	31,683.83	35,842.56	34,453.07	33464.70	150,708.76	0.00	0.00
B	C-2	C-4	C-6	C-10	C-14			
	10,877.30	26,437.34	52,874	80,525	64835.41	235,548.54	9.69	2282465.304
D			C-7	C-11	C-15			
			34,424	66,858	49613.39	150,895.32	17.85	2693481.462
E			C-8	C-12	C-16			
			16,118.47	33,358.33	25245.30	74,722.10	23.93	1788099.853
						611,874.72		6764046.619

$$X_c = \frac{6764046.62}{611,874.72} = 11.0546$$

Un vez obtenidas ambas coordenadas del centro de gravedad (Xc y Yc), lo trazaremos en la planta como se muestra a continuación.



Cálculo del Centroide de Rigidez

Los elementos de apoyo son los que brindan la rigidez de una estructura, en este caso sus columnas, y ésta depende de su geometría, tamaño y materialidad de las mismas.

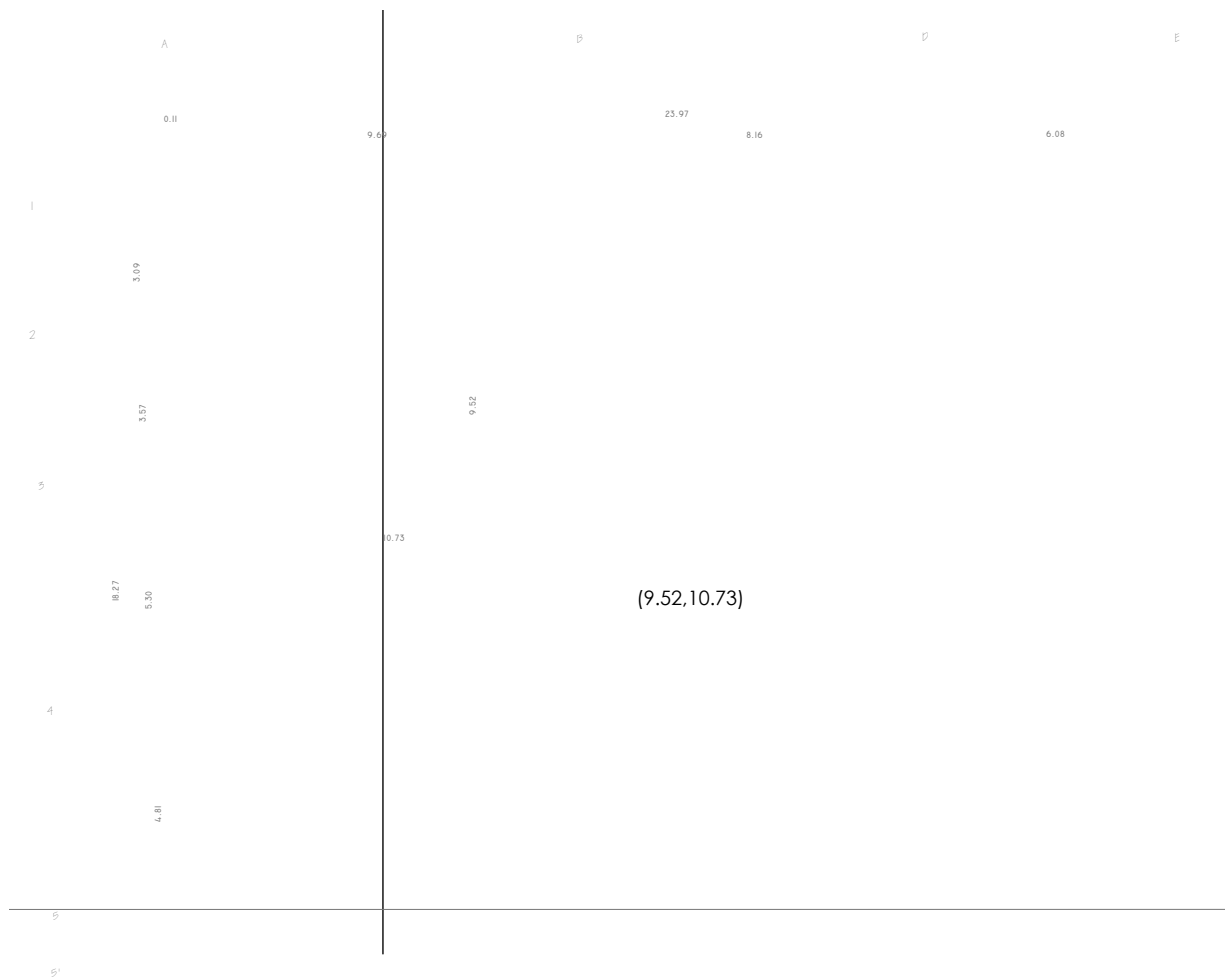
EJE	RIGIDEZ EN COLUMNAS				CARGA EN EJE WI (TON)	DI (M)	DI*WI
1	C-1	C-2					
	0.3350	0.3350			0.670	0	0.000
2	C-3	C-4					
	0.335	0.335			0.670	3.09	2.070
3	C-5	C-6	C-7	C-8			
	0.335	0.335	0.335	0.335	1.340	6.65	8.911
4	C-9	C-10	C-11	C-12			
	0.335	1	0.335	0.335	2.005	11.95	23.960
5	C-13	C-14	C-15	C-16			
	0.335	0.335	0.335	0.335	1.340	16.76	22.458
					6.025		57.399

$$Y_c = \frac{57.399}{6.025} = 9.5269$$

EJE	CARGA DE COLUMNAS (KG)					CARGA EN EJE WI	DI (M)	DI*WI
A	C-1	C-3	C-5	C-9	C-13			
	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	1.675	0	0
B	C-2	C-4	C-6	C-10	C-14			
	0.335	0.335	0.335	1	0.335	2.34	9.69	22.6746
D			C-7	C-11	C-15			
			0.335	0.335	0.335	1.005	17.85	17.93925
E			C-8	C-12	C-16			
			0.335	0.335	0.335	1.005	23.93	24.04965
						6.025		64.6635

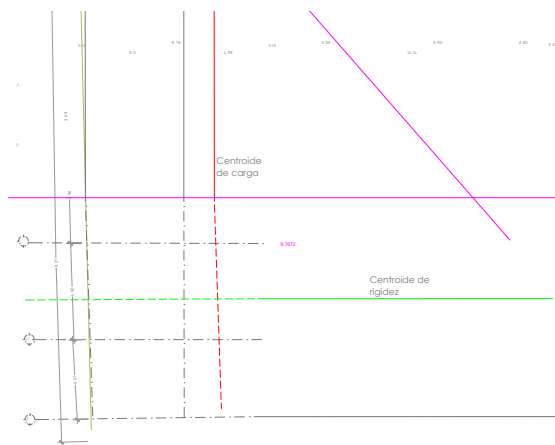
$$X_c = \frac{64.6635}{6.025} = 10.7325311$$

Del mismo modo que trazamos el centroide de carga en la planta, lo realizaremos para el centroide de rigidez.



LA EXCENTRICIDAD Y SU MOMENTO DE VOLTEO

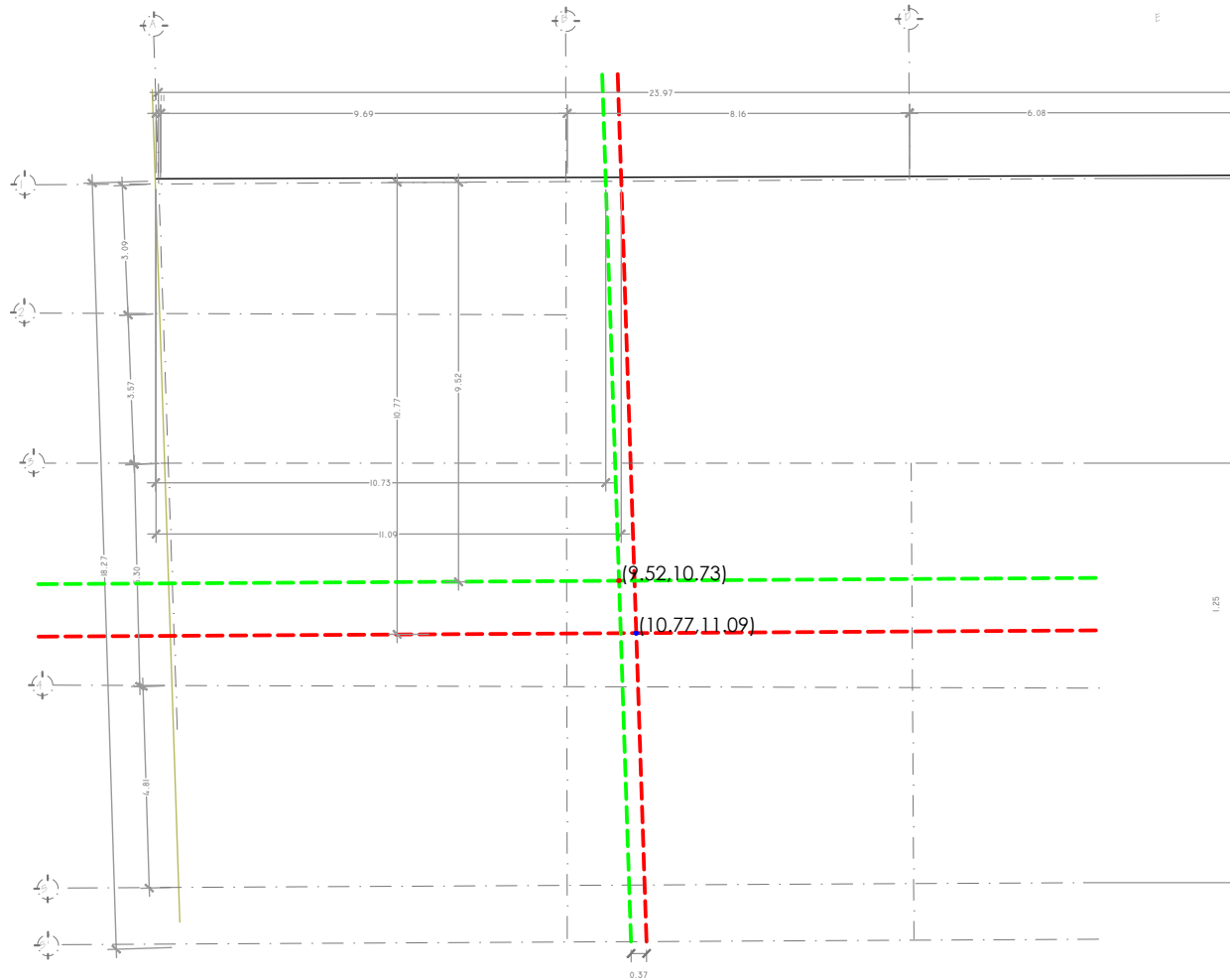
La excentricidad de un edificio es la distancia entre el centroide de carga y su centroide de rigidez, en este caso sería de 0.73m en Y y 0.09 en X, es decir que nuestra estructura es casi perfecta, ya que sus centroides se encuentran casi en el mismo punto, de lo contrario si tuviéramos una mayor distancia entre los centroides del edificio generaríamos un mayor Momento de Volteo, como se muestra a continuación.



Donde $F*d=Mt$

Es decir que si ambos centroides se encuentran en el mismo punto su excentricidad será cero, por tanto, no habría distancia y el momento de volteo sería nulo. De ahí la importancia de que una estructura sea sensiblemente simétrica ya que de esta manera sería mucho más probable que nuestros centroides se encuentren el mismo punto.

En este caso nuestras excentricidades serán de 0.37 en X y 1.25 en Y.



Por lo anterior, si estas dos coordenadas nos hubieran dado un punto muy separado, sería necesario modificar el criterio estructural, para hacer un equilibrio de masas, poner más peso de un lado, o quitar elementos, tratando de juntar ambos centroides.

6. DISEÑO ESTRUCTURAL

Una vez definido el criterio estructural, con un predimensionamiento base por carga (y mediante la resistencia del material $\text{peso/resistencia}=\text{área}$), se pasa al diseño de la estructura por medio del cálculo, y este a diferencia de la bajada de cargas se hace de abajo hacia arriba, por lo que comenzaremos por la cimentación.

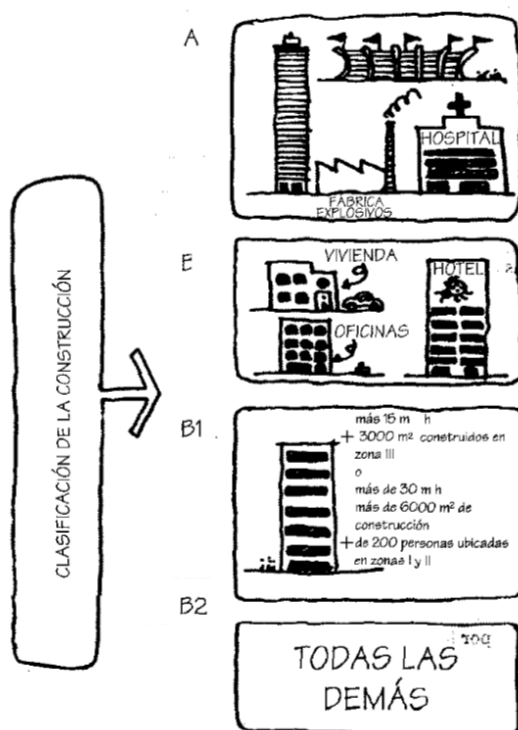
En el caso de la Ciudad de México debemos apegarnos además al Reglamento de construcciones del (entonces) Distrito Federal”, el cual se reforzó a partir de la catástrofe del sismo del 19 de septiembre de 1985.

Objetivos:

- Que el arquitecto vea mediante el cálculo el efecto que tiene el diseño de la forma de cada uno de los elementos estructurales, así como del sistema estructural en general.
- Que aprenda a calcular y diseñar un sistema estructural acorde a un previo criterio estructural concordante con el proyecto arquitectónico.

6.1. CÁLCULO Y DISEÑO DE CIMENTACIONES

Para definir la cimentación debemos conocer la resistencia del terreno, ya que como bien sabemos la cimentación es el elemento estructural que se encarga de transmitir las cargas del edificio al terreno. También es importante que conozcamos su tipo de uso que tendrá el edificio, para poder determinar conforme a la clasificación de refuerzo estructural del RCDF (ver imagen 1) su factor de refuerzo conforme a la seguridad estructural que requiere.



“Art. 139. Para los efectos de este Título las construcciones se clasifican en los siguientes grupos: I.

Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios. II. Grupo 6: Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en: o) Subgrupo B1: Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6000 m² de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o más

Imagen 1. Tipos de edificios, clasificación por seguridad estructural requerida.

de 3000 m² de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo: acceso y escaleras, incluyendo las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje; b) Edificios que tengan locales de reunión que puedan alojar más de 200 personas, templos, salas de espectáculos, así como anuncios autosoportados, anuncios de azotea y estaciones repetidoras de comunicación celular y/o inalámbrica, y c) Subgrupo B2: Las demás de este grupo.”

Dependiendo la zona del predio en la clasificación del reglamento de construcciones, no sólo podremos conocer una resistencia aproximada de su suelo, sino que el Reglamento también nos indica su factor de seguridad por sismo, en este caso el reglamento de construcciones nos dice:

“Art. 170. Para fines de este Título, el Distrito Federal se divide en tres zonas con las siguientes características generales: Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta Zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelo para explotar minas de arena; Título sexto. De la seguridad estructural 14 3 Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros, y Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a vahos metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.”

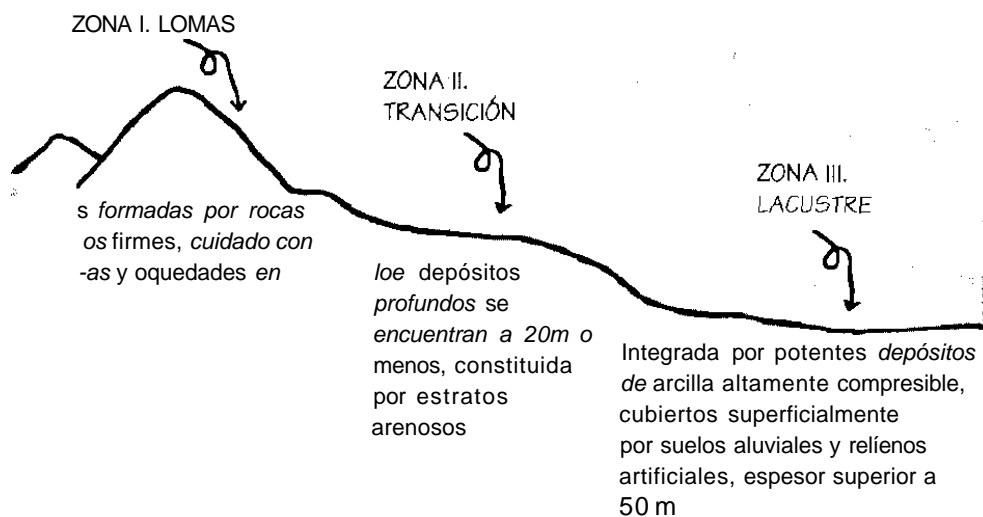


Imagen 2. División de zonas según su terreno en el antes D.F.

7.1.1. Diseño por sismo y Factor de Seguridad (Normas técnicas complementarias)

“1.4 Zonificación Para los efectos de estas Normas se considerarán las zonas del Distrito Federal que fija el artículo 170 del Reglamento. Adicionalmente, la zona III se dividirá en cuatro

subzonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId), según se indica en la figura 1.1. 1.5 Coeficiente sísmico El coeficiente sísmico, c , es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo, V_0 , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel, W_0 . Con este fin se tomará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan a ser significativos. Para calcular el peso total se tendrán en cuenta las cargas muertas y vivas que correspondan, según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. El coeficiente sísmico para las edificaciones clasificadas como del grupo B en el artículo 139 del Reglamento se tomará igual a 0.16 en la zona I, 0.32 en la II, 0.40 en las zonas IIIa y IIIc, 0.45 en la IIIb y 0.30 en la IIId, a menos que se emplee el método simplificado de análisis, en cuyo caso se aplicarán los coeficientes que fija el Capítulo 7 (tabla 7.1). Para las estructuras del grupo A se incrementará el coeficiente sísmico en 50 por ciento”.

Zona	c	a_0	T_a ¹	T_b ¹	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
IIIa	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0
IIIb	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0
IIIc	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0
IIId	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0

Tabla 1. Parámetros para calcular la aceleración por sismo.

En este caso tenemos un predio en zona I, como ya veíamos en la obtención del objeto arquitectónico, el edificio corresponde al Grupo B2, por contener locales de reunión que puedan alojar más de 200 personas, y su coeficiente sísmico por su tipo de estructura correspondiente a marcos rígidos será de $Q=2.0$

Cortante sísmico

Una vez conocidos estos datos podremos conocer el cortante sísmico que estará ejerciendo en movimiento telúrico en el terreno y por tanto en la cimentación de edificio, el cual en resumen será el empuje sísmico por la masa del edificio, pero podremos conocerlo mediante la siguiente fórmula.

$$V_s = \frac{C}{Q}(W) + 50\%$$

En donde:

- V_s es el cortante sísmico
- C es el coeficiente sísmico correspondiente al tipo de suelo
- Q es el factor de estructura
- W la carga total del edificio

Por tanto, nuestra ecuación quedaría de la siguiente manera:

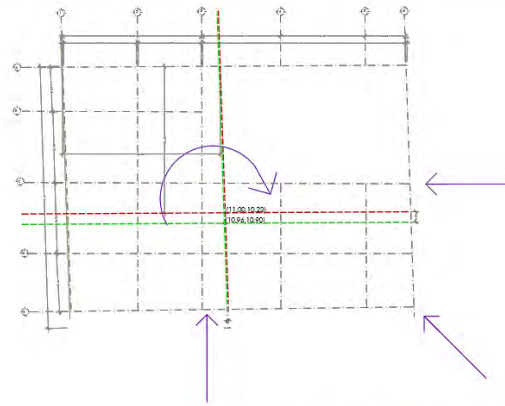
$$V_s = \frac{0.16}{2.0}(611,784.72kg)$$

Por tanto, nuestro cortante sísmico será equivalente a:

$$V_s = 48.95Ton$$

Momento de Volteo

Y como ya mencionábamos con anterioridad el Momento de Volteo de un edificio será igual a su (fuerza que corresponde al) cortante o empuje sísmico por (su brazo de palanca que será) la excentricidad del edificio, la cual corresponde a la separación entre sus centroides de carga y rigidez.



Por lo tanto, el Momento Máximo durante un sismo será correspondiente a su brazo de palanca correspondiente a la longitud de su planta en cada uno de sus lados (“x” o “y”), por la masa del sismo por la aceleración del empuje sísmico, lo cual se resume en:

$$\mu\tau = V_s * e$$

En donde:

$\mu\tau$ es el Momento de Volteo (o mejor conocido en física como torca)

e es la excentricidad del edificio

Y la excentricidad en cada uno de sus lados lo tomaremos con la fórmula:

$$e = 1.5(e_c) \pm 0.1b$$

En donde:

b es cada lado del edificio

Se calcula en ambos signos considerando el valor más desfavorable. Tendiendo ambas ecuaciones de la siguiente manera:

$$e_x = 1.5(0.37) + 0.1(23.97) = 2.952m$$

$$e_x = 1.5(1.25) - 0.1(23.97) = -1.842m$$

$$e_x = 1.5(1.25) + 0.1(28.27) = 3.702m$$

$$e_x = 1.5(1.25) - 0.1(28.27) = 0.048m$$

Por lo tanto, el Momento de Volteo en X será:

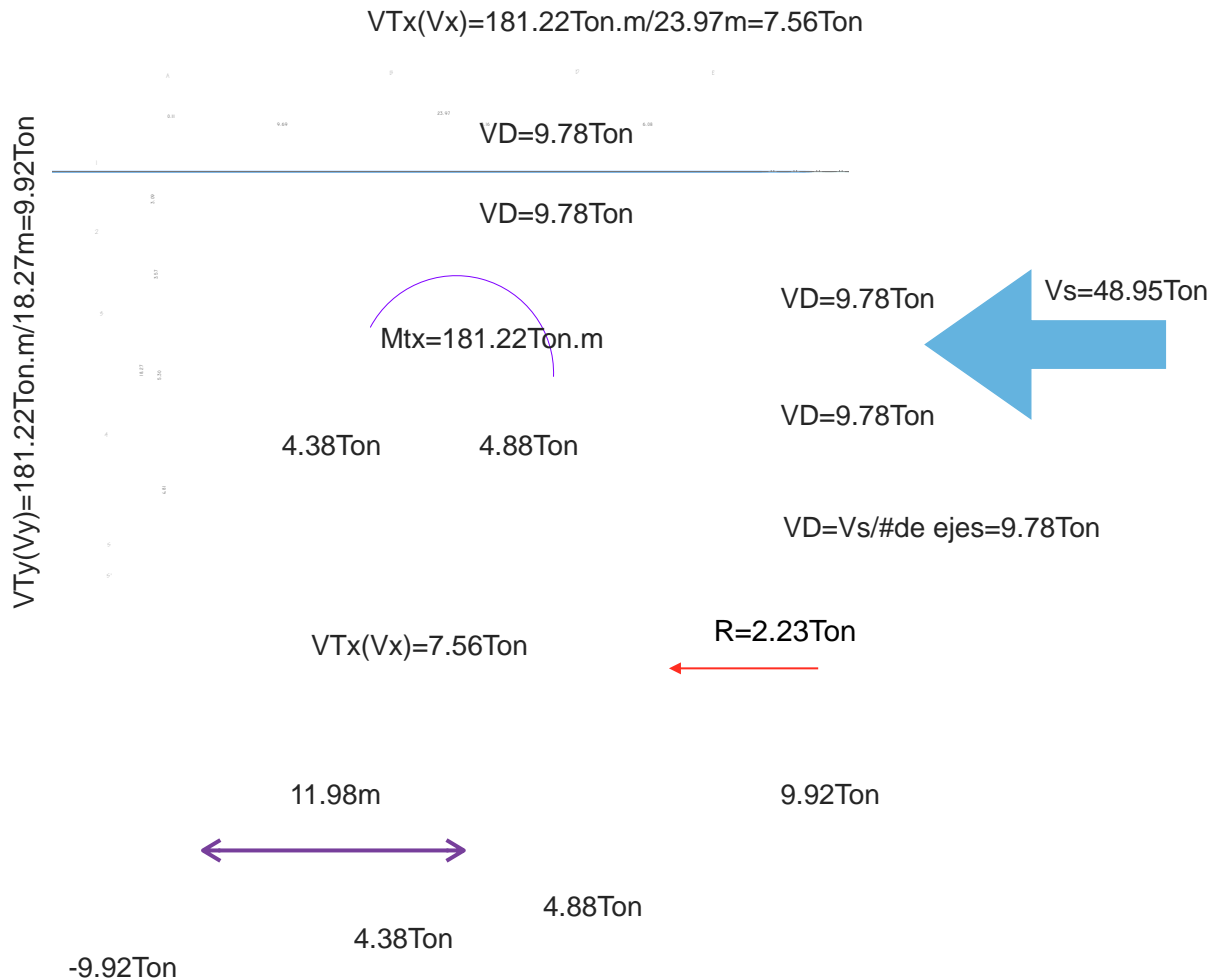
$$MT_x = 48.95ton(3.07m) = 181.22Ton . m$$

Y el Momento de Volteo en Y será:

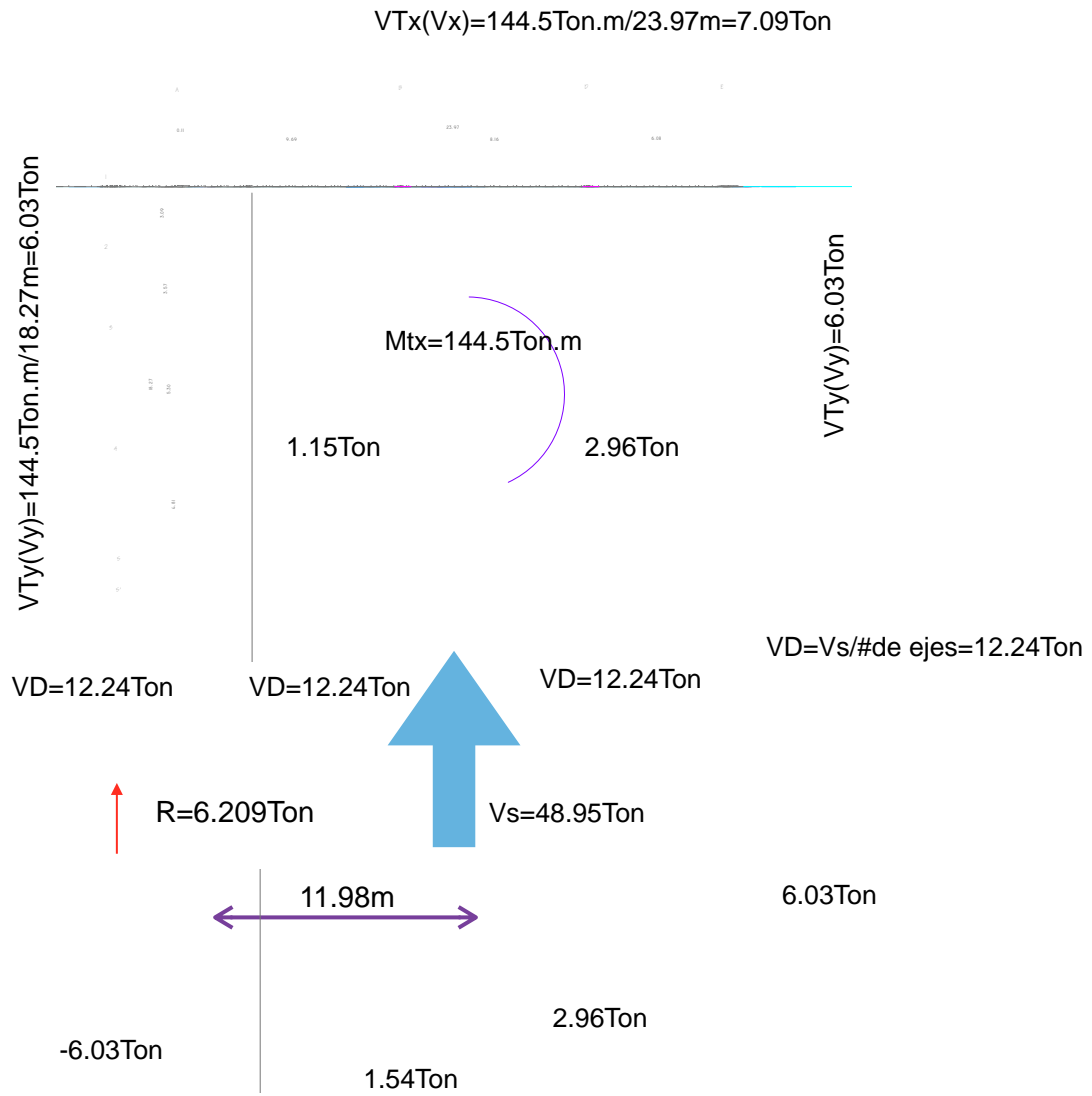
$$MT_y = 48.95ton(2.95m) = 144.5Ton . m$$

Una vez obtenidos el Momento de Volteo conforme a su excentricidad, descompondremos su Cortante Sísmico que estaría recibiendo cada eje estructural para después obtener el Cortante Sísmico que estarían recibiendo cada una de las columnas.

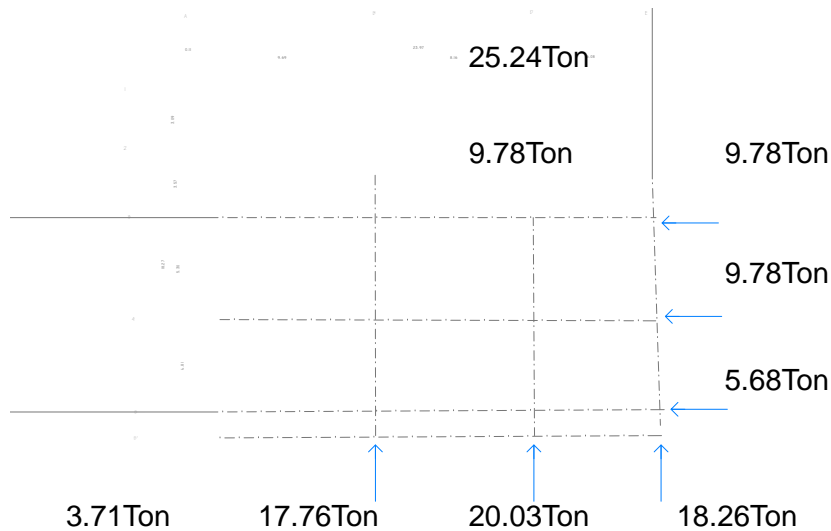
Para el momento en x, $MT_x=181.22Ton.m$, quedará de la siguiente manera:



Y para el momento en y, $MT_y=144.5Ton.m$, quedará de la siguiente forma:



Una vez obtenidos los cortantes sísmicos, realizaremos un resumen de los cortantes, sumando los cortantes obtenidos en cada uno de sus ejes.



7.1.2. Momento de Volteo y su Sobrecarga en la Cimentación

El momento de Volteo afecta tanto a la forma en planta como en altura y como ya mencionábamos a mayor altura mayor volteo, ya que su centro de gravedad se aleja más del piso y con ello aumenta su brazo de palanca. Este empuje es producido por el cortante sísmico, absorbido por las columnas y debe ser soportado por la cimentación.

Por lo que una vez obtenidos los cortantes sísmicos, podremos obtener la fuerza del empuje sísmico F_s , en cada uno de los ejes estructurales del edificio, mediante la siguiente fórmula:

$$f = V_s \frac{w_i h_i}{\sum W_i h_i}$$

Y la altura aproximada en donde recibiría el impacto el edificio, mediante la siguiente fórmula.

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T}$$

Para finalmente obtener el cortante vertical que habría que sumarle a la cimentación, para que ésta sea capaz de resistir el momento final.

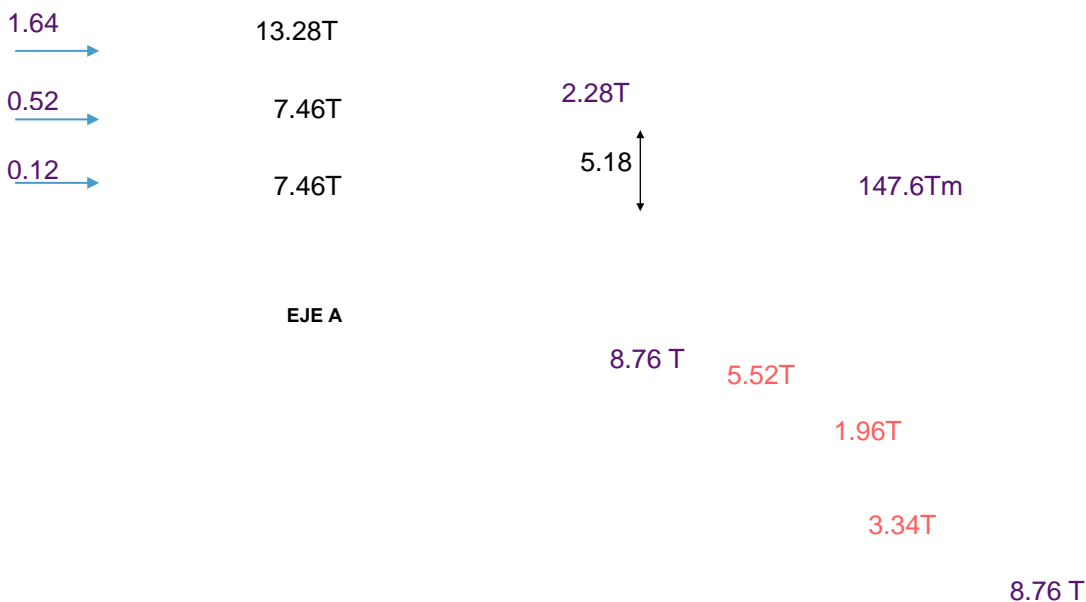
EJE A

AT	AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
2.65	3.42	7.23	5.78	696	13279.68	554.01251564
2.65	3.42	0	5.77	630.5	7465.12	311.43596161
2.65	3.42	0.53	5.71	630.5	7761.455	323.79870671
CARGA TOTAL EN EL EJE					28506.255	1189.2471839

Nivel	w _i (ton)	h _i (m)	W _i h _i	f _i
P1	13.280	8.00	106.237	1.642
PB	7.465	4.50	33.593	0.519
Sótano	7.761	1.00	7.761	0.120
	28.506	Σ=	147.592	2.281

$$V_{s(\text{eje A})} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 28.506 = 2.28 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 5.18 \text{ m}$$



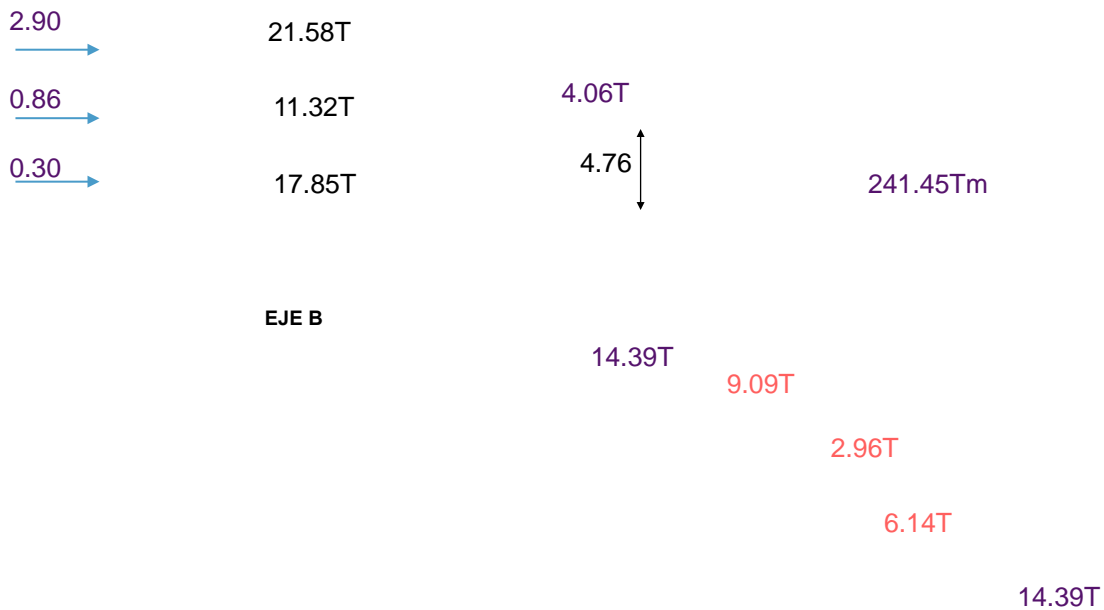
EJE B

AT	AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
2.52	3.16	14.05	11.28	696	21582.96	900.41551939
2.52	3.16	0.99	11.28	630.5	11317.475	472.15164789
0	3.16	13.88	11.28	630.5	17855.76	744.92115149
CARGA TOTAL EN EL EJE					50756.195	2117.4883187

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _{hi}	f _i
P1	21.583	8.00	172.664	2.904
PB	11.317	4.50	50.929	0.856
Sótano	17.856	1.00	17.856	0.300
	50.756	Σ=	241.448	4.060

$$V_{S(eje B)} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 50.756 = 4.06 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.76 \text{ m}$$



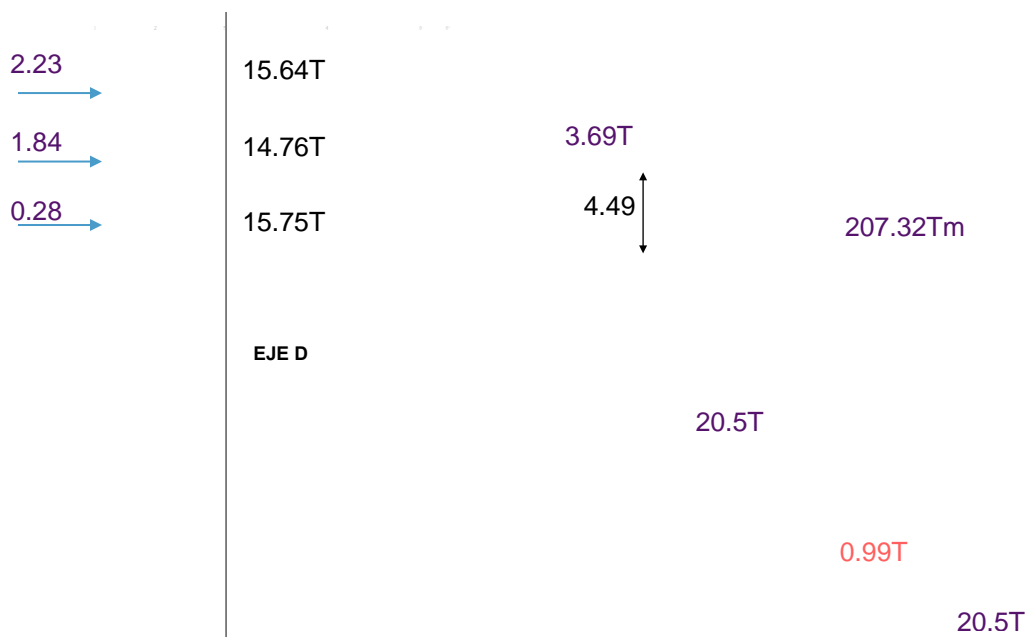
EJE D

AT	AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
0	0	14.15	8.32	696	15639.12	652.44555694
0	0	12.51	10.91	630.5	14766.31	616.03295786
0	0	14.19	10.8	630.5	15756.195	657.32978729
CARGA TOTAL EN EL EJE					46161.625	1925.8083020

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _{hi}	f _i
P1	15.639	8.00	125.113	2.229
PB	14.766	4.50	66.448	1.184
Sótano	15.756	1.00	15.756	0.281
	46.162	Σ=	207.318	3.693

$$V_{S(eje D)} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 46.162 = 3.69 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.49 \text{ m}$$



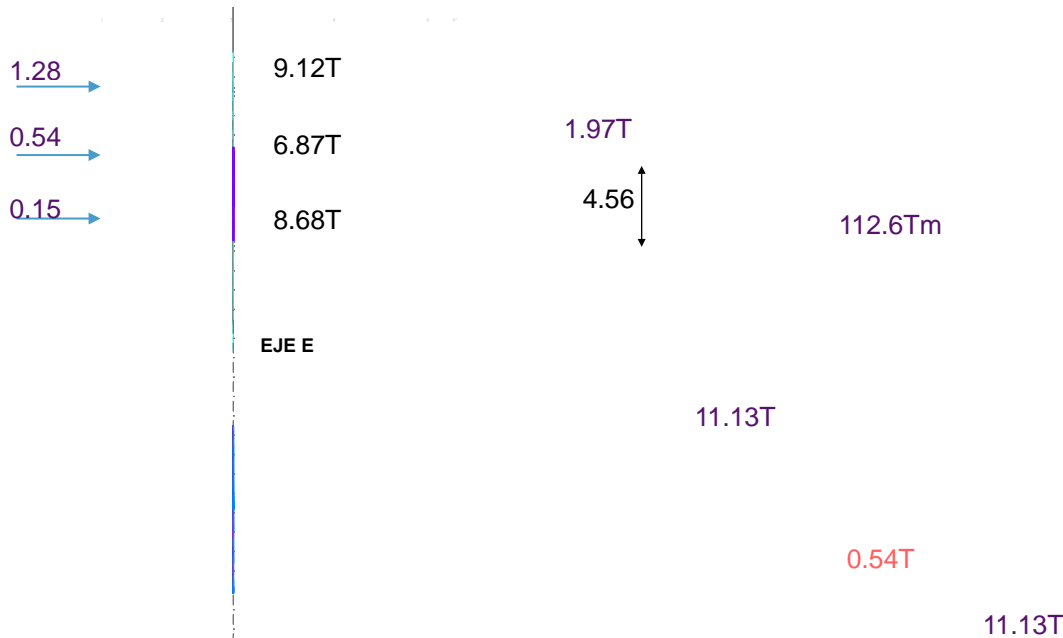
EJE E

AT	AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
0	0	7.64	5.47	696	9124.56	380.66583229
0	0	4.77	6.13	630.5	6872.45	286.71047142
0	0	7.64	6.13	630.5	8681.985	362.20212765
CARGA TOTAL EN EL EJE					24678.995	1029.5784319

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _i h _i	f _i
P1	9.125	8.00	72.996	1.280
PB	6.872	4.50	30.926	0.542
Sótano	8.682	1.00	8.682	0.152
	24.679	Σ=	112.604	1.974

$$V_{S(eje E)} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 24.679 = 1.97 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.56 \text{ m}$$



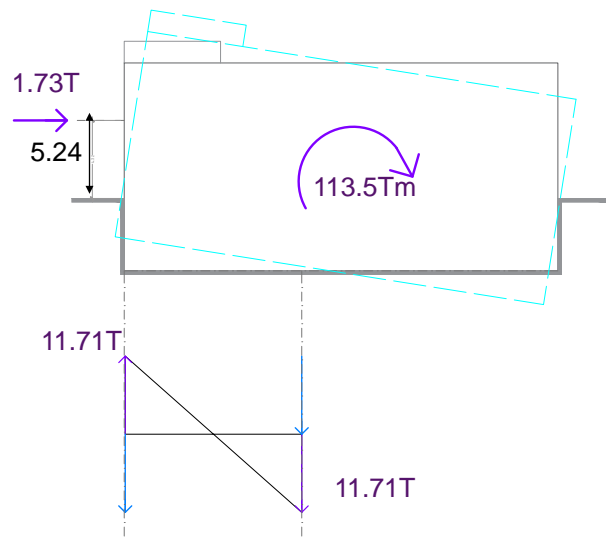
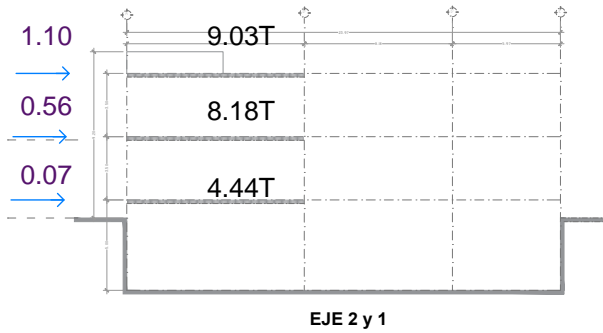
EJE 1

AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
12.98	0	0	696	9034.08	376.891113
12.98	0	0	630.5	8183.89	341.422194
7.04	0	0	630.5	4438.72	185.178139
CARGA TOTAL EN EL EJE				21656.69	903.491447

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _{ih}	f _i
P1	9.034	8.00	72.273	1.103
PB	8.184	4.50	36.828	0.562
Sótano	4.439	1.00	4.439	0.068
	21.657	Σ=	113.539	1.733

$$V_{S(eje 1)} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 21.657 = 1.73 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 5.24 \text{ m}$$



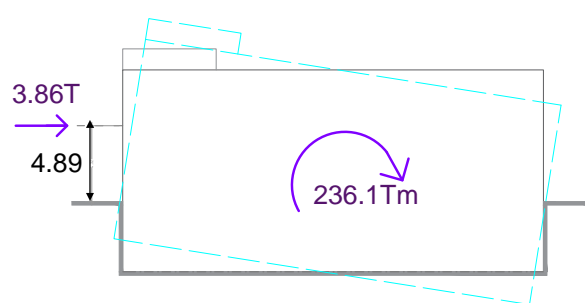
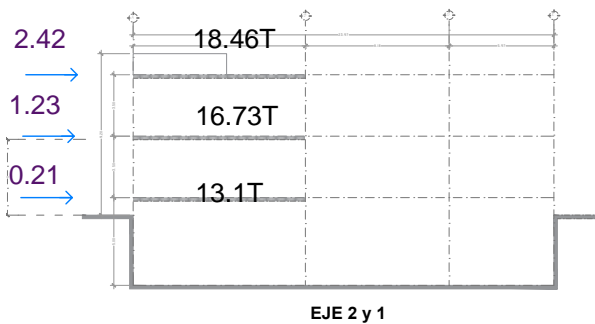
EJE 2

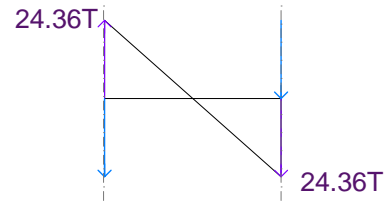
AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
26.53	0	0	696	18464.88	770.332916
26.53	0	0	630.5	16727.165	697.837505
20.78	0	0	630.5	13101.79	546.591155
CARGA TOTAL EN EL EJE				48293.835	2014.76157

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _{ih}	f _i
P1	18.465	8.00	147.719	2.417
PB	16.727	4.50	75.272	1.232
Sótano	13.102	1.00	13.102	0.214
	48.294	Σ=	236.093	3.864

$$V_{S(eje 2)} = \frac{0.16}{2.00} \cdot 48.294 = 3.86 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.89 \text{ m}$$





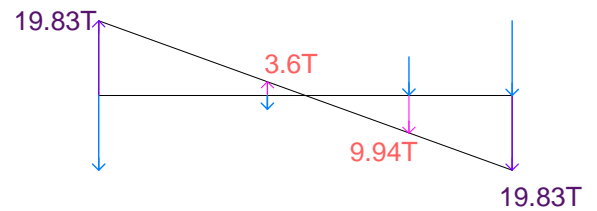
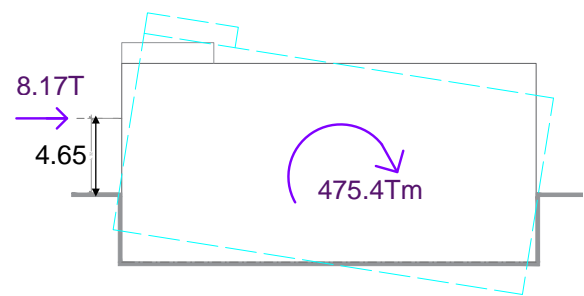
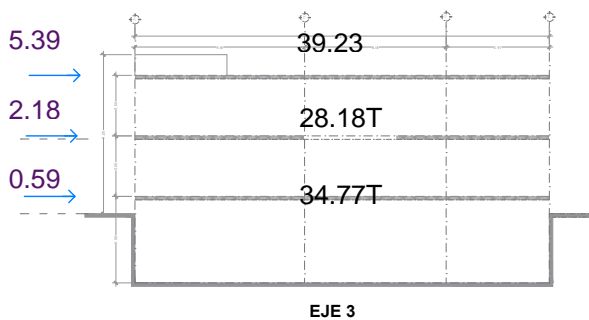
EJE 3

AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
32.12	14.74	9.5	696	39226.56	1636.48560
31.63	1.8	11.27	630.5	28183.35	1175.77596
30.91	14.74	9.5	630.5	34772.075	1450.64977
CARGA TOTAL EN EL EJE				102181.985	4262.91134

Nivel	wi (ton)	hi(m)	Wih	fi
P1	39.227	8.00	313.812	5.396
PB	28.183	4.50	126.825	2.181
Sótano	34.772	1.00	34.772	0.598
	102.182	Σ=	475.410	8.175

$$V_{s(eje 3)} = \frac{0.16}{2.00} 102.182 = 8.17 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.65 \text{ m}$$



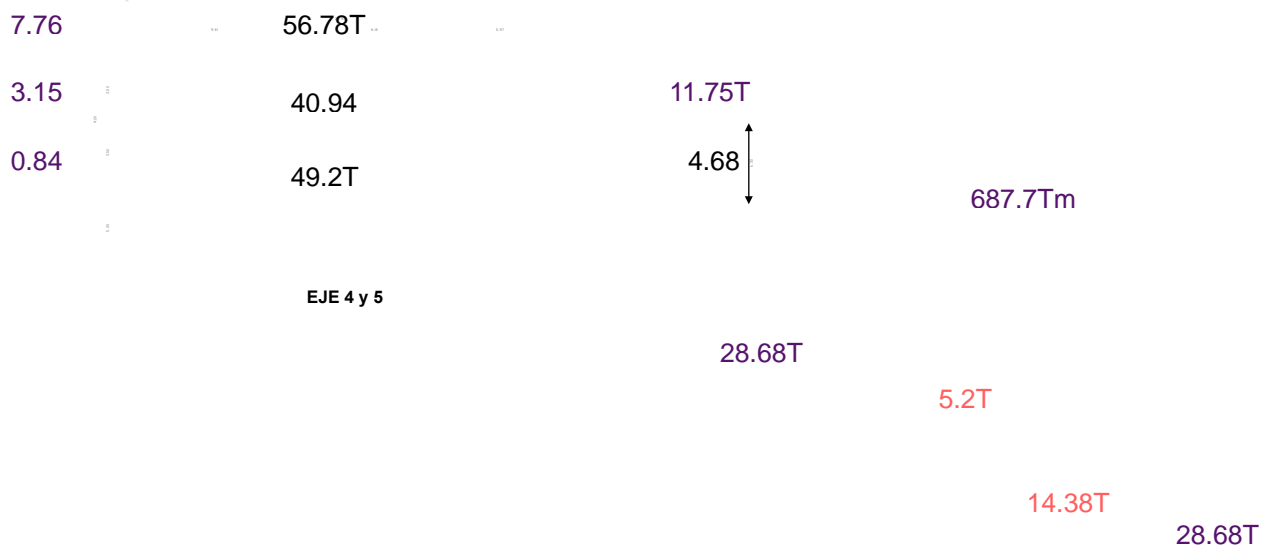
EJE 4

AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
34.5	28.9	18.18	696	56779.68	2368.78097
26.9	26.42	11.62	630.5	40944.67	1708.16312
29.2	28.9	19.94	630.5	49204.22	2052.74176
CARGA TOTAL EN EL EJE				146928.57	6129.68585

Nivel	wi (ton)	hi(m)	Wih	fi
P1	56.780	8.00	454.237	7.764
PB	40.945	4.50	184.251	3.149
Sótano	49.204	1.00	49.204	0.841
	146.929	Σ=	687.693	11.754

$$V_{s(eje 4)} = \frac{0.16}{2.00} 146.929 = 11.75 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.68 \text{ m}$$



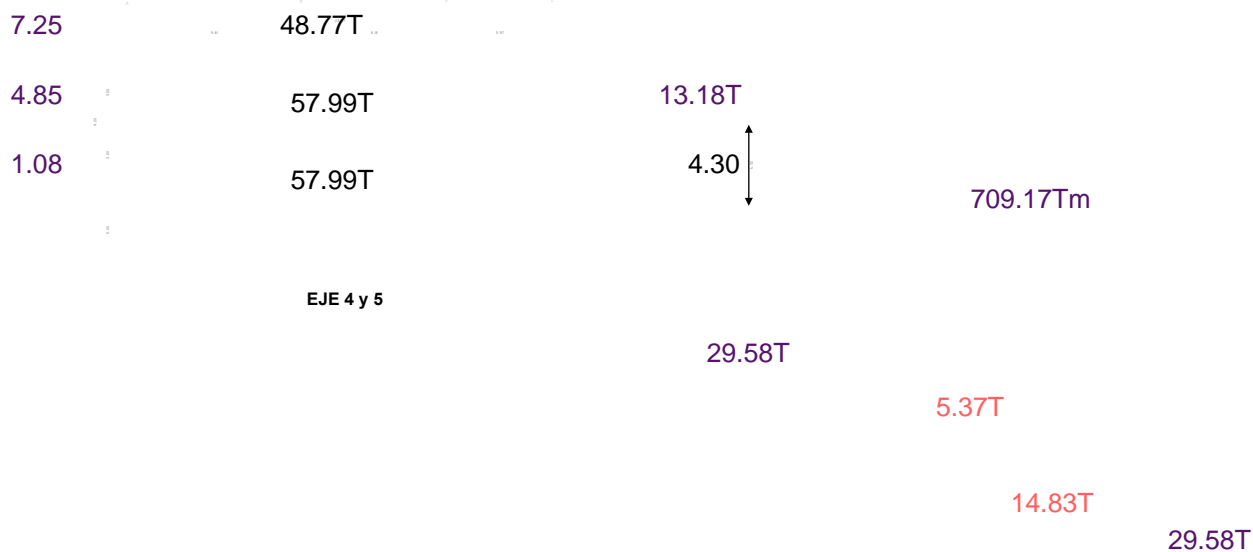
EJE 5

AT	AT	AT	CARGA	CARGA T.	W/L
28.54	24.89	16.65	696	48775.68	2034.86357
36.08	31.62	24.28	630.5	57993.39	2419.41551
36.08	31.62	24.28	630.5	57993.39	2419.41551
CARGA TOTAL EN EL EJE				164762.46	6873.69461

Nivel	wi (ton)	hi(m)	W _{hi}	f _i
P1	48.776	8.00	390.205	7.253
PB	57.993	4.50	260.970	4.851
Sótano	57.993	1.00	57.993	1.078
	164.762	Σ=	709.169	13.181

$$V_{s(eje 5)} = \frac{0.16}{2.00} 164.762 = 13.18 \text{ ton}$$

$$H = \frac{\sum w_i h_i}{W_T} = 4.30 \text{ m}$$



Y finalmente haremos un resumen de las cargas totales de las columnas con su cortante sísmico, teniendo como resultado nuestra carga de diseño en cada uno de los apoyos.

	A	B	C	E
1	35.73T	36.97T		
2	61.56T	59.89T		
3	57.63T	59.43T	64.86T	47.08T
4	66.47T	91.86T	82.23T	62.57T
5	71.8T	84.59T	84.94T	65.95T

Diseño de Cimentaciones

Las cimentaciones se clasifican en superficiales, profundas o por sustitución. Las superficiales se refiere a las zapatas tanto aisladas como corridas y las losas de cimentación. Las profundas se refiere a las pilas y pilotes. Y las cimentaciones por sustitución se refiere a los cajones de cimentación, los cuales consisten en compensarle la carga retirada del tierra al terreno mediante el peso del edificio.

Una manera práctica de saber qué tipo de cimentación requeriremos será mediante las siguientes fórmulas.

$$WT - Rtt$$

Donde:

- WT es el peso total del edificio
- Rtt es la resistencia del terreno por la huella de desplante

Teniendo que:

- Si $WT - Rtt > 0$, entonces la cimentación será por sustitución, es decir, cajones de cimentación, y/o profunda, es decir, mediante pilas y pilotes
- Si $WT - Rtt \geq 0$, entonces la cimentación será superficial mediante losas de cimentación.

- Si $W_T - R_{tt} < 0$, entonces la cimentación será superficial mediante zapatas corridas o aisladas.

Por lo que, una vez teniendo conocimiento de cada una de las cargas en nuestros apoyos, podremos calcular y diseñar la cimentación del edificio, teniendo la carga total de diseño y la resistencia del terreno.

$$A = \frac{W_t}{\sqrt{\quad}}$$

Para conocer la resistencia del terreno, les muestro a continuación una tabla de resistencias probables según la zona del terreno.

ZONA RCDF	RANGO DE RESISTENCIA	RESISTENCIA RECOMENDADA (sin mecánica de suelos).
ZONA I:	10-15Ton/m ²	12 Ton/m ²
ZONA II:	5-10Ton/m ³	5 Ton/m ²
ZONA III:	0-4Ton/m ²	3 Ton/m ²

Tabla 2. Rango de resistencia por zona.

Cuando no contamos con la mecánica de suelos¹ del terreno, se puede considerar la resistencia más desfavorable respecto a la zona, sin embargo es fundamental realizar dicho estudio, ya que esta gratificación no es del todo segura, debido a que por ejemplo en el caso de los terrenos en lomeríos llegan a existir cavernas, o simplemente no son terrenos de piedra aunque si de tepetate altamente compactado, en este caso es un predio que de acuerdo a su mapa de zonificación geotécnica (ver imagen 2, pag.54), se encuentra en Zona I y al visitar el sitio me percate que está muy cerca de Ciudad Universitaria pero no es un predio de piedra volcánica.

En este caso al ser un proyecto meramente de uso didáctico, el cual no se construirá, me aventuraré a proponer una resistencia de 10 Ton/m².

Por tanto, si el peso total de nuestro edificio es de 611.88Ton y la resistencia de nuestro terreno es 10Ton/m², nuestra fórmula quedaría de la siguiente manera:

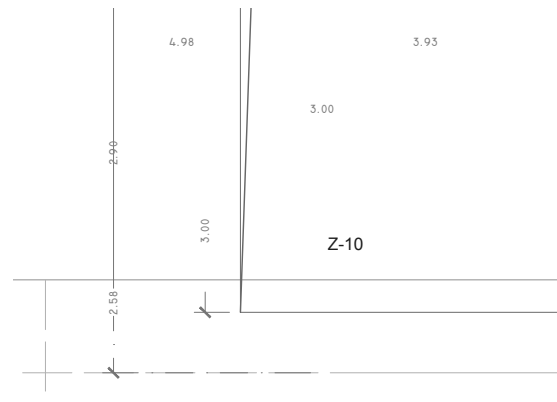
$$611.88\text{Ton} - (10\text{Ton}/\text{m}^2 * 316\text{m}^2) = -2,548.12\text{Ton}$$

Por tanto, nuestra cimentación será a base de zapatas, para lo cual el área necesaria de la Columna 10, que es la que más carga, será de:

$$A_{10} = \frac{91.86\text{Ton}}{10\text{Ton}/\text{m}^2} = 9.2\text{m}^2$$

¹ La mecánica de suelos es un estudio que se le hace al terreno, mediante diversas pruebas químicas y de esfuerzo, determinando así su resistencia.

Debido al área requerida, podemos observar que nuestra cimentación será a base de zapatas aisladas, ya que el área necesaria no es tan grande; si el área requerida se acercara o sobrepasara el 50% de los entre ejes habría entonces que cimentar con zapatas corridas.



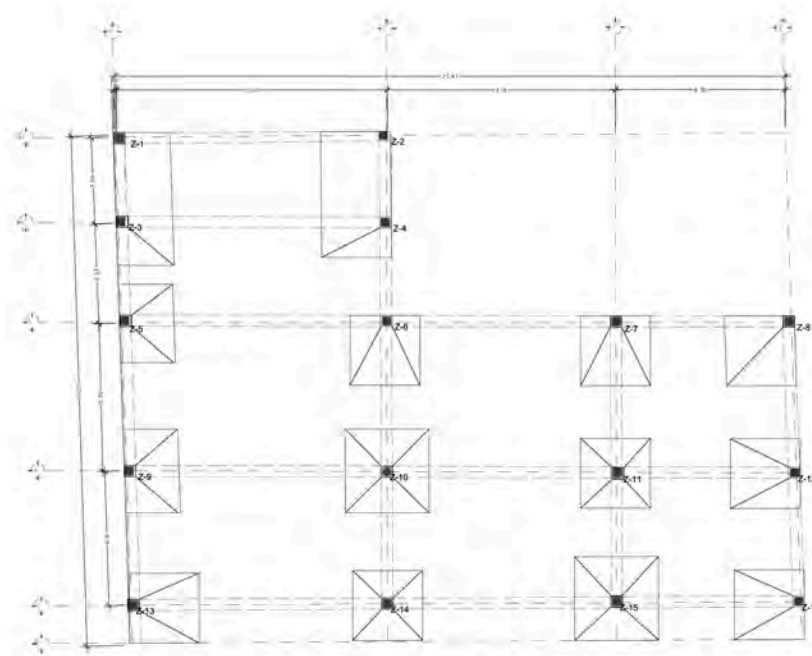
Para conocer las dimensiones de las zapatas, resulta muy práctico realizar una tabla resumen como la que muestro a continuación, en donde tendremos todas las áreas necesarias para cada apoyo.

<i>COLUMNA</i>	<i>CARGA FINAL</i>	<i>ÁREA NECESARIA</i>	<i>LONGITUD POR LADO</i>
C-1	34.89	3.49	1.868
C-2	36.97	3.70	1.923
C-3	61.56	6.16	2.481
C-4	59.89	5.99	2.447
C-5	57.63	5.76	2.401
C-6	59.43	5.94	2.438
C-7	64.86	6.49	2.547
C-8	47.08	4.71	2.170
C-9	66.47	6.65	2.578
C-10	91.86	9.19	3.031
C-11	82.23	8.22	2.868
C-12	62.57	6.26	2.501
C-13	71.8	7.18	2.680
C-14	84.59	8.46	2.908
C-15	84.94	8.49	2.914
C-16	65.95	6.60	2.568

Para homogeneizar los elementos estructurales consideraremos 3 dimensiones de zapata, ya que sus longitudes no varía mucho; quedando nuestras zapatas de la siguiente manera.

<i>COLUMNA</i>	<i>CARGA</i>	<i>ÁREA</i>	<i>LONGITUD</i>	<i>L. FINAL</i>
C-1	34.89	3.49	1.868	2.00
C-2	36.97	3.70	1.923	2.00
C-3	61.56	6.16	2.481	2.50
C-4	59.89	5.99	2.447	2.50
C-5	57.63	5.76	2.401	2.50
C-6	59.43	5.94	2.438	2.50
C-7	64.86	6.49	2.547	2.50
C-8	47.08	4.71	2.170	2.50
C-9	66.47	6.65	2.578	2.50
C-10	91.86	9.19	3.031	3.00
C-11	82.23	8.22	2.868	3.00
C-12	62.57	6.26	2.501	2.50
C-13	71.8	7.18	2.680	3.00
C-14	84.59	8.46	2.908	3.00
C-15	84.94	8.49	2.914	3.00
C-16	65.95	6.60	2.568	2.50

Y finalmente dibujaremos nuestras zapatas con las longitudes obtenidas, teniendo en cuenta que las zapatas perimetrales no estarán en el centro sino que desafiaremos nuestra longitud en planta, aunque consideraremos nuestra coronaria en la ubicación de desplante de nuestras columnas; teniendo así nuestro plano de cimentaciones.



REFLEXIONES Y CONCLUSIONES

Como mencionaba en un principio, el motivo de esta tesis era concientizar a los arquitectos proyectista y estudiantes que creen que el tema de las estructuras es exclusivo de los ingenieros civiles, pensando de esta manera que están deslindados de la obligación de saber de los sistemas estructurales, más aún después del sismo de septiembre de 1985 que para todos los que nacimos después de ello parecía una leyenda, el revivirlo en el pasado sismo del 2017, volvió aún más evidente esta necesidad, ya que los errores cometidos a falta del desconocimiento de este tema llegan a cobrar la vida de decenas de personas.

Sin embargo, en el desarrollo de la tesis y durante las encuestas realizadas, me di cuenta que el verdadero problema radica en la manera en que se enseña este tema a los estudiantes, ya que muchos de los maestros no dominan esta área debido a que fueron formados durante una etapa en la que se empezó a creer precisamente que esto era tema de ingenieros civiles; evitando que puedan aplicar lo aprendido en Sistemas Estructurales al Taller de Arquitectura.

Aunado a lo anterior, a muchos alumnos se les complica aprender este tema debido a una falta de claridad en los maestros de Sistemas Estructurales, ya que tratan de introducirlos directamente a el cálculo de las estructuras sin saber qué son y cómo funcionan, y que como dice Eduardo Torroja *“Es un error demasiado corriente empezar a calcular la viga número 1 sin haber antes meditado si la construcción debe llevar vigas o no.”*¹ Adicional a ello, muchos maestros de estructuras no enseñan lo que deberían de enseñar, impartiendo clases sin seguir el plan de estudios y al realizar un cambio de grupo los alumnos tienen que volver a revisar los temas que ya debieron haber quedado claros, cayendo en la consecuencia de que toda la carrera se vean análisis de una viga.

Por todo lo anterior, esta tesis se torno a manera de manual dirigido a los alumnos que se sientan un poco desorientados con el tema, tratando de guiarlos en su aprendizaje; así como un apoyo a los maestros de Arquitectura que quieran apoyar a sus alumnos aplicando las estructuras en el diseño.

Está claro que el tema de la docencia es muy complejo pues existen tantos métodos de enseñanza y de aprendizaje, como personas; ya que cada uno aprendemos de forma distinta y enseñamos de manera distinta, pero lo que es un hecho es que todo aquél que esté interesado en aprender o enseñar y sobre todo ejercer en el mundo de la construcción está obligado a saber cómo funcionan los sistemas estructurales.

En esta tesis vemos apenas un pequeño método el cual podría funcionar como método de enseñanza y de aprendizaje, y lo comparto porque fue el que a mi me funcionó y creo que es uno de los más apropiados pues los aprendizajes van de forma sumativa partiendo de lo más simple a lo más complejo, entendiendo primero el comportamiento de las estructuras y después aprender a calcularlo, además de revisar de manera teórica qué es cada uno de los temas realizados, tratar de entenderlo en un objeto y posteriormente calcularlo. y por el cual le agradezco a mis maestros de Sistemas Estructurales, quienes me lo transmitieron, al Arq. Ramón Abud y al Arq. Jorge Galaviz quien fue mi maestro de Sistemas Estructurales durante casi toda la carrera y me enseñó casi todo lo que sé de estructuras.

¹ Torroja Miret, Eduardo. *“Razón y ser de los tipos estructurales”*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. pág. 2

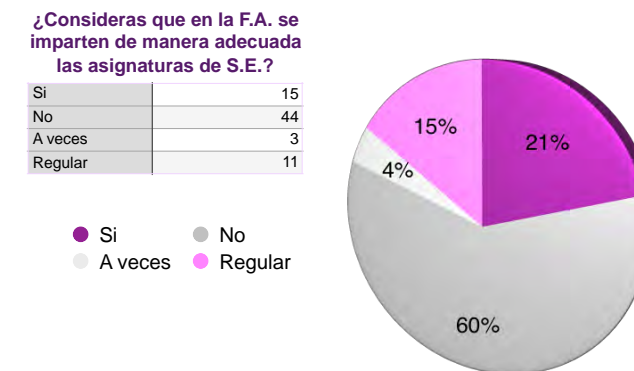
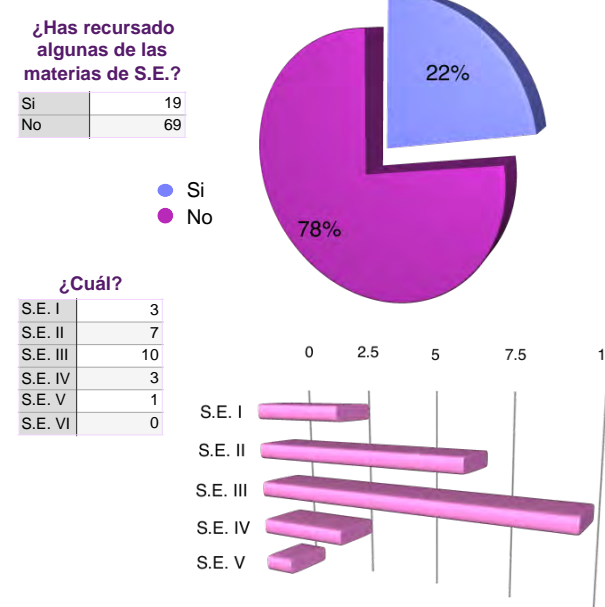
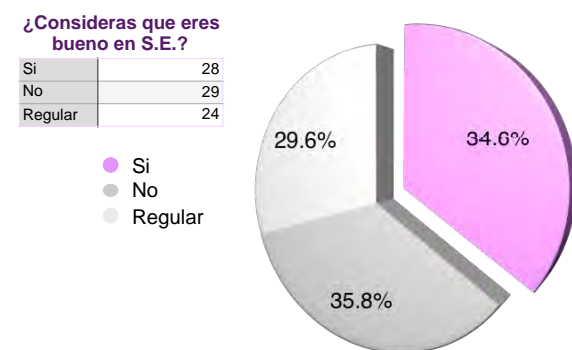
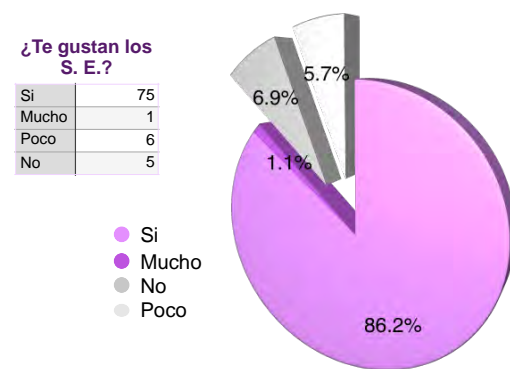
INVESTIGACIÓN- OPINIÓN DE LOS ALUMNOS DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA RESPECTO A LA ASIGNATURA DE SISTEMAS ESTRUCTURALES

NOMBRE (OPCIONAL)	#	TALLER	SEMESTRE	GENERACIÓN	S.E.	¿TE GUSTAN LOS S.E.?	¿CONSIDERAS QUE ERES BUENO?	¿HAS RECURSADO ALGUNA ASIGNATURA DE S.E.?	¿CUÁL?	¿CREES QUE ES NECESARIO QUE LOS ARQUITECTOS SEPAN DE S.E.?	¿POR QUÉ?	¿CONSIDERAS QUE EN LA F.A SE IMPARTEN DE MANERA ADECUADA LAS ASIGNATURAS DE S.E.?	¿POR QUÉ?	¿CREES QUE ESTÁ DE MÁS LA ASIGNATURA DE S.E. EN LA F.A?	¿CREES QUE EL ING. CIVIL ES EL QUE DEBERÍA CALCULAR LA ESTRUCTURA?	¿POR QUÉ?	¿QUÉ CONSIDERAS QUE FALTA POR APRENDER DE LAS ESTRUCTURAS?	¿HAY ALGO EN LO QUE SE TE COMPLIQUE EL APRENDIZAJE DE LOS S.E. RESPECTO A SU CÁLCULO Y DISEÑO?
-	1	José Revueltas	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	El arq. debe tener buenos fundamentos en cuanto al cálculo y modo de construcción de un edificio	Si	Lo considero así porque he tenido buenos profesores, pero considero que en el plan de estudios falta por atender esta asignatura	No	No	Debe ser en conjunto con el arquitecto	Mejorar el programa para ver temas más complejos sobre estructuras.	No, pero los pasos o el procedimiento llega a ser cansado y olvidamos algunos pasos, lo cual nos lleva a resultados erróneos.
Sánchez Valdez Marco Antonio	2	Max Cetto	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Debemos tener los criterios de cómo se sostendrá lo que diseñemos	No	Como todas las materias cada metro da lo que quiere	No	A veces	En obras grandes considero que es importante la participación de un ingeniero	Diferentes diseños y nuevos tipos de estructuras que se manejan	Si, depende del profesor, pero en mi semestre creo que falta mucho por aprender.
-	3	Tres	4	2016	V	Si	No	No	-	Si	Porque la estructura es lo que va a dar soporte a nuestra forma y se debe de diseñar de manera conjunta.	Si	La división entre cimentación, armaduras y bajada de cargas nos ayuda a relacionarlas.	No	No	Creo que también somos capaces de hacerlo y para evitar cambios en nuestro proyecto debemos tener conocimiento.	Losas de cimentación	No
-	4	Tres	4	2016	IV	No	No	No	-	Si	Aunque no nos dediquemos a las estructuras debemos saber saber para poder diseñar y poder llevar a cabo el proyecto.	Regular	Porque hay de todo tipo de maestros.	No	Si	Porque es un especialista en eso, pero no significa que no debamos tener el conocimiento.	La práctica en nuestra carrera.	Si, es tedioso.
-	5	Tres	4	2015	IV	Si	Si	No	-	Si	Para tener en cuenta la factibilidad de los proyectos.	Si	Porque he aprendido, pero quizá falten más prácticas de campo.	No	No	El cálculo si bien no es requisito del arquitecto puede desarrollarse en este campo.	Estructuras metálicas, paraboloides hiperbólicos, grandes claros.	No
Jeremy	6	Carlos Leduc	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Te hace estar más preparado y consciente de lo que estás haciendo.	No	Porque creo que no se profundiza lo necesario en los temas.	No	No	Porque no entienden la profundidad del proyecto.	Más cálculo.	Es más en el diseño, creo que hace falta explicar más a fondo.
-	7	Carlos Leduc	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Para ver la vialidad del proyecto, las alternativas y hacerlo posible mediante el cálculo.	No	Considero que los profesores no le dan la importancia.	No	No		Un buen cálculo de toda la estructura.	Calcular.
-	8	José Revueltas	4	2015	IV	Si	No	No	-	Si	Es necesario para poder fundamentar los proyectos, además de que las estructuras ayudan a dar una forma expresiva.	No	Creo que hace falta profundizar más en los temas.	No	Si	Creo que tanto el ingeniero como el arquitecto deben de tener la capacidad para manejar este tema.	Creo que falta aprender un poco más sobre sistemas "más básicos".	El cálculo, ya que muchas veces los profesores llevan un ritmo un poco acelerado.
-	9	Carlos Leduc	4	2016	IV	Si	Si	Si	S.E. II	Si	Es esencial tener conocimientos de estos criterios para determinar el tipo de estructura.	Si	Porque he adquirido los conocimientos correspondientes y utilizarlos en criterios estructurales para el diseño.	No	No	Porque la estructura está totalmente ligada a el proyecto por lo tanto debemos tener en cuenta el cálculo estructural.	Usarlas como criterio de y para el diseño y no sólo para el cálculo. (aplicación)	Cantidades de material.
-	10	Carlos Leduc	4	2016	IV	Si	Si	No	-	Si	Porque si no se sabe calcular el edificio se caería o arruinaría el diseño.	Regular	Depende del profesor que imparta la asignatura.	No	A veces	El arquitecto debería saber estructurar, aunque en alguna obra grande podría apoyar un ingeniero civil.	Nuevos sistemas estructurales y constructivos.	En algunos procesos el cálculo.
-	11	Carlos Leduc	4	2016	IV	Regular	Regular	No	-	Si	Porque si no se tienen criterios estructurales, tal vez formalmente no se pueda construir.	Si	Depende de la forma de enseñar del profesor, pero el plan de estudios lo marca bien.	No	Si	Se necesita del apoyo por el tipo o magnitud del proyecto, no podemos trabajar solos todo el tiempo.	Dinamismo orgánico.	El método gráfico, hasta ahora.
-	12	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	Regular	No	-	Si	Porque se puede caer por los diferentes factores que se presentan.	Si	Es muy teórico y dinámico por lo que se aprende con mayor facilidad.	No	No	Es algo que uno como arquitecto debe de saber para poder realizar un proyecto construable.	Nuevos sistemas y cómo calcular curvas.	El sistema gráfico.
-	13	Carlos Leduc	5	2014	v	Si	No	Si	S.E. IV	Si	Es una parte muy importante de la cual partir para poder diseñar.	Si	Creo que el programa está bien diseñado.	No	No	Creo que tanto los ingenieros como nosotros como arquitectos debemos tener esos conocimientos.	Las nuevas tecnologías.	Calcular la teoría flexionante.
Anahí Reyes	14	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	Si	No	-	Si	Porque el diseño de un espacio debe cumplir parámetros físicos que la tecnología ayuda a lograr.	No	No se le da la importancia que debería.	No	No	No totalmente, ya que no es el que está diseñando el espacio y la mayoría de las veces no tiene la misma idea que el arquitecto.	El cálculo de ellas, porque muchas veces al intentar solucionar un edificio no tenemos el conocimiento de lo que se necesita y tenemos que cambiar a la idea original porque no sabemos cómo se sostendrá.	La materia como tal no se me complica, pero la manera en la que la enseñan y la información que nos dan no me parece la mejor.
-	15	Carlos Lazo	4	2015	IV	Si	Si	No	-	Más o menos	Porque el criterio que se aplica al proyecto se adquiere desde la primera etapa.	Regular	Por la "libertad de cátedra" cada quién la enseña a su manera y con su criterio.	No	No	Porque para hacer hay que conocer.	Considero que falta mucho por aprender, pues me gustaría poder brindar soluciones más complejas, elementos albeados.	No, depende de la claridad del profesor, pero al final termino por entender.
-	16	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	Se debe por lo menos tener un criterio.	Regular	Con algunos maestros, ya que a muchos no les interesa la docencia.	No	No	Se les debería de dar nuevas estructuras a investigar en lugar de que ellos nos den una solución a nuestro proyecto.	Cálculo en elementos curvos.	Llevarle el paso o el ritmo de trabajo a mi profesor.
-	17	Carlos Leduc	4	2016		Si	No	Si	S.E. III	Si	Porque en un proyecto arquitectónico no sólo es importante el diseño sino también la estructura.	Regular	Hay maestros a los que no se les entiende su manera de explicar.	No	No	Creo que es importante que tanto el ingeniero como el arquitecto sepan realizar el calculo porque no siempre vas a depender de la otra persona para poder realizar un proyecto.	Realizar correctamente el cálculo de una losa (peso).	Peso de la losa.
María Reyes	18	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	Porque para realizar un proyecto es necesario saber cómo se hará, no sólo crear la forma, u. licho.	No	Falta la intención del docente de que aprendas.	No	Si	Porque ellos son más hábiles en el tema, salvo si como arquitecto deseas especializarte en ellas.	Nada	Las formulas.
Omar	19		4	2016	III	Si	No	Si	S.E. III	Si	Para saber cómo será lo que sostiene al edificio y no tener complicaciones.	No	Los maestros no siempre están preparados para explicar.	No	No	Nosotros como arquitectos debemos tener el conocimiento para calcularla.	Nada	Tengo problemas con el proceso de aprendizaje, siento que por parte de los maestros deben estar más preparados.
-	20	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	Si	No	-	Si	Porque para diseñar hay que conocer cómo funcionan las estructuras, para poder proponerlas conjuntamente con el proyecto.	No	Porque enseñan las estructuras básicas y cómo calcularlas, pero se tiene que profundizar y enseñar a proponer nuevos sistemas.	No	No	Se puede trabajar de manera conjunta, pero también debemos aprender nosotros para saber cómo se comporta nuestro edificio.	Profundizar en nuevos sistemas.	Nada.
-	21	Barragán	4	2016	IV	Si	Regular	No	-	Si	Porque sin estructura no hay arquitectural.	No	Porque depende demasiado del maestro si aprendes o no.	No	Si	Pero también nosotros debemos poder.	Creo que sólo falta hacer las cosas más prácticas.	No

-	22	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	Si	No	-	Si	No podríamos diseñar correctamente si no tuviéramos criterios de construcción y estructuras.	Regular		No	Si	La materia nos da criterios, pero no nos hace calculistas, si quisiéramos calcular nuestros propios edificios deberíamos estudiar también ingeniería.	Sistemas estructurales actuales.	Entenderle al profesor.
Anahí	23	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si		No	-	Si	Para que una edificación funcione debe tomar en cuenta la estructura.	No	Hay profesores que no imparten bien la materia.	No	No	Creo que tanto los ingenieros como los arquitectos deberíamos calcular las estructuras de acuerdo al proyecto.	Profundizar en los temas.	El diseño, saber qué estructura usar y por qué esa.
Alonso Salazar	24	Ehecattl 21	6	2015	IV	Si	Si	Si	S.E. I y S.E. II	Si	Porque se podría diseñar a partir de la estructura.	No	Porque no todos los profesores tienen el mismo método, y algunos profesores quieren que hagas las cosas a su modo.	No	No	La arquitectura es más antigua que la ingeniería civil, por tanto debemos saber hacerlo.	Nuevas tecnologías y métodos estructurales.	La vigueta y bovedilla.
Victor Bazaldua	25	Max Cetto	4	2016	V	Si		No	-	Si	Sin ello no puedes sostener el proyecto.	No	Hay maestros que saben del tema pero no motivan y son malos enseñando.	No (profesores si)	A veces	Depende de la magnitud del proyecto.	Acoplarla al diseño.	No
-	26	Carlos Lazo	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	Porque es nuestro trabajo.	No		No	No	Porque es trabajo del arquitecto y el arquitecto es el único que sabe cómo funciona el proyecto.	Nuevos sistemas.	El cálculo.
-	27	Carlos Lazo	4	2016	IV	Poco	No	No	-	Si	Porque son parte fundamental para todas las construcciones.	No	No todos los profesores son buenos ni enseñan lo que deberían	No	No	Porque al diseñar debes pensar al mismo tiempo en la estructura.	Calculos.	El cálculo.
-	28	Carlos Lazo	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Porque gracias a ellos se hace realidad la arquitectura.	Si	Nos enaña a calcular y muchos a ponerlas en practica en modelos, aunque creo que también sería bueno el análisis de las estructuras.	No	No	No es algo que sea tan difícil y no es un tema que sólo lo sepan los ingenieros, pues los arquitectos también pueden ser especialistas en estructuras.	Estructuras no tradicionales.	No, tal vez la manera en que el maestro explica.
Melanie Rodríguez	29	Max Cetto	4	2016	IV	No	Si	No	-	Si	Para no depender de un ingeniero y lograr mejores soluciones.	No	La mayoría de los profesores no tienen formación pedagógica.	No	No	Dbemos saber para tener una ideaa.	El funcionamiento y aplicación más allá del cálculo.	El diseño correcto y manejo de ls sistemas.
Diana Islas Santos	30	Uno	4	2013	V y VI	Si	Si	No	-	Si	Necesitan saber cómo hacer sus proyector sean estables y no depender de modificaciones realizadas por otra persona.	No	Algunos profesores son demasiado idiotas para enseñar, otros no tienen conocimiento (o al menos no lo expresan) y otros no tienen vocación.	No	Puede ser	Creo que puede hacerlo pero también debería poder un arquitecto.	Cálculo en general.	Las estructuras de cables.
Janet Arellano	31	Ehecattl 21	6		V	Si	Regular	No	-	Si	Porque cualquier proyecto que tenemos que hacer en base a ello.	No	Considero que en algunas ocasiones repiten lo mismo y en otras ocasiones no enseñan lo que está en el plan de estudios.	No	No	Somos diseñadores y somos capaces de calcular la estructura que estamos diseñando.	Cálculo de armaduras y cálculo de cimentaciones.	Las formulas y el proceso.
-	32	Domingo García Ramos	5	2012	IV	Si	Regular	Si	S.E. III	Si	Principalmente porque necesitas saber cómo sostendrás ese edificio a construir.	Si	En algunos casos porque prácticamente depende de los profesores.	No	No	Es lo que se nos ha incudado pero no necesariamente el ingeniero debe hacerlo.	Creo que esta bien, sólo faltan mejores profesores.	El cálculo es demasiado tedioso y aunque el diseño es increíble se necesita del cálculo para el diseño.
-	33	Max Cetto	4	2016	IV	Si	Regular	Si	S.E. III	Si	Deben de tener mínimo un criterio para poder proyectar y que sea ás sencillo el proyecto.	No	La metodología de enseñanza me parece buena, aunque no la manera de evaluar.	No	No	Creo que los arquitectos podemos desarrollar todo el proyecto si tenemos las herramientas.	Resolver estructuras más complejas como las de algunos arquitectos de renombre.	
-	34	Max Cetto	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	Porque se debe diseñar y proyectar siempre pensando en la factibilidad de los edificios.	No	Porque en cada semestre los profesores dan los temas que quieren y pocas veces hay continuidad entre cada semestre.	No	A veces	De sistemas o construcciones más complejas.	Aplicaciones directas.	Me confunde hacer cálculos sobre líneas que veo en un pizarrón y me cuesta extrapolarlo a sistemas estructurales.
Samantha Villagomez	35	Tres	4	2016	IV	Si	No	No	-	Si	Porque hay que entender el comportamiento de un edificio y lograr las formas que deseamos.	Si	Pero falta explicarlo de manera más práctica.	No	No	Porque ponen soluciones sencillas que pueden no obedecer o arruinar la forma.	Entender que la forma no obedece a la estructura, sino al revés.	Trasladar los cálculos a un entendimiento físico.
Maximiliano Sánchez Lara	36	O'Gorman	6		V	Si	No	Si		Si	Para hacer y proponer diseños más eficientes y habitables.	Si	Es lo que necesitamos como arquitectos.	No	Si	Pero necesitamos bases en nuestras propuestas.		Hasta el momento nada.
Margado Zumaya	37	Luis Barragan	4	2015		Si	Si	No	-	Si	Porque es parte de todo el conjunto que conforma la arquitectura.	Regular	Hay muchos profesores malos, pero los buenos lo compensan.	No	Si	Debe calcularla un ingeniero, pero un arquitecto no sabe de estructura es muy difícil que cumplan con nueva arquitectura.	Falta comprender los nuevos sistemas que no se ven tanto en México, más tecnología nueva.	Más bien se me complica adaptarme al modo de enseñar de algunos profesores, pero teniendo un guía bueno es muy fácil.
Andrea	38	Carlos Lazo	4	2015		Poco	Regular	No	S.E. III	Si	Mucho, ya que sino se conoce o se implementa una buena estructura en los proyectos, aunque el diseño del proyecto sea muy bueno, no se podrá construir.	No	Hay pocos maestros comprometidos a dar una buena clase de sistemas.	No	No	Ya que si los arquitectos conocen del tema, tienen la posibilidad de ahorrar dinero.		
-	39					Si	No	Si	S. E. III	Si	Es importante conocer el esqueleto de nuestros diseños.	No	En general son pocos los profesores que saben enseñar aunque el conocimiento lo tengan.	No	No	A veces con la estructura te cambia el proyecto, es mejor llevar de la mano el diseño y estructura.		
-	40	José Revueltas	4		IV	No	No	No	-	Si	Para que sus diseños puedan construirse.	Regular	Suponiendo que el plan de estudios es bueno, no todos los profesores imparten la clase de manera adecuada.	No	No	Porque a partir de lo que queramos proyectar resolviendo el problema será el diseño y ellos no entienden eso.	El método de enseñanza.	La manera de enseñanza.
Areli Salgado	41	Carlos Leduc	4	2014	V	Si	Regular	No	-	Si	Ya que no sólo se trata de ver la forma y que funcione bien sino saber cómo se va a soportar perfectamente el edificio y también experimentar con ello.	No	Porque en la mayoría sólo se basan en enseñar cómo se comportan pero no te invitan a poner en práctica diferentes estructuras para un tipo de edificio.	No	No	Porque se trata de tu diseño y la forma. La función y la manera en que se soporta debe estar en estrecha relación.	Ver todos los tipos que hay y como se comparten en el edificio no sólo de manera individual como una columna y una viga.	En las gráficas de momentos.
-	1	José Revueltas	6	2014	IV	Si	Regular	No	-	Si	Por lo menos lo básico	No	Porque no todos los maestros enseñan de manera adecuada.	No	Si		Estructuras más modernas.	El cálculo en general.
Antonio Calderón	2	Tres	6	2015	VI	Si	No	No	-	Si	Deben saber cómo funcionan las estructuras y la física para saber cómo realizar sus proyectos, saber bajo que condiciones se pueden elaborar las formas más deseadas.	No	Hasta ahora considero que me han enseñado lo básico, lo esencial para poder diseñar.	No	No	Pienso que tanto los ingenieros como los arquitectos pueden calcularlas.	Un método o programas con casos completos para generar cálculos exactos en una estructura.	Las matematicas aplicadas y generar ideas para estructuras, criterio estructural.

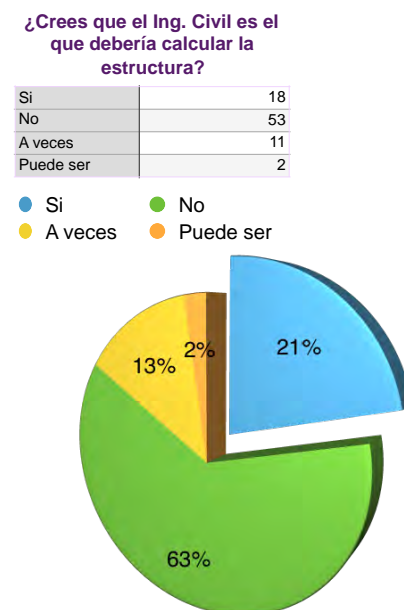
-	3	Tres	5	2015	Vi	Si	Si	No	-	Si	En las otras materias que están en el plan de estudios no se tienen criterios estructurales, sólo se basan en lo estético.	No	Porque deberían abarcar más cálculos y más métodos.	No	No	Creo que sólo debería dar el visto bueno.	Comportamientos reales ante cargas.	
-	4	Revueltas	6	2015	VI	Si	Si	No	-	Si	Conocer cómo actúan las estructuras ante las fuerzas y poder hacer un predimensionamiento.	No	Algunos profesores no están capacitados y se repiten temas en los distintos sistemas que se ven.	No	No	Debería ser de apoyo, además el arquitecto debería saber calcular para hacer predimensionamiento.	Más tipos de sistemas, salir de los convencionales.	En ocasiones los cálculos.
-	5	Villagrán	6	2015	VI	Si	Regular	No	-	Si	No se puede proyectar sino sabes cómo se sostiene.	No	Creo que no se le da la importancia que requiere, se ve sistemas de una manera superficial.	No	Si	Pero eso no significa que nosotros no debamos saber nada al respecto, el conocimiento es la base de nuestra profesión, no veo por qué no expandirlo.	Más software especializado, nuevos métodos de cálculo y nuevas estructuras.	Creo que la falta de enseñanza de software en la materia, tres horas seguidas de clase son horribles.
Vargas	6	Villagrán	6	2015	VI	Si	Si	No	-	Si	Porque tienen parámetros de los que es posible y lo que no.	No	Algunos maestros	No	Si	En colaboración del arquitecto.	Considero que temas más complejos, como las estructuras más innovadoras.	No
-	7	Tres	6	2015	VI	No	Regular	No	-	Si	Porque así no dependen de los ingenieros civiles.	No	Siento que falta detallar más algunos temas.	No	No	Creo que el arquitecto debería ser responsable del proyecto.	Creo que se debería analizar un proyecto famoso y saber por qué estructuralmente funciona.	
-	8	Max Cetto	6	2015	VI	Si	Si	No	-	Si	Ya que aunque el cálculo lo haga un especialista en estructuras, el arquitecto evitará en dado caso un mal cálculo o resolvería algo de urgencia en obra.	No	No siguen el plan de estudios y en algunos casos no enseñan "casos" aplicados a la vida real.	No	Si	Pero eso no quiere decir que nosotros no debamos saber.	La aplicación en la vida real.	El cálculo de los diagramas de cortante y momento.
Alma Álvarez Madrid	9	Carlos Leduc	6	2015	VI	Si	Regular	No	-	Si	Porque no hay manera de diseñar y construir sin pensar en la estructura.	No	Realmente falta profundización.	No	No	El arquitecto es el que diseña y por ende el que debe pensar en la estructura.	Algunos métodos de análisis y profundización de temas.	El cálculo por el proceso que es un poco confuso.
Gerardo Alcontor	10		6	2014	VI	Si	Si	No	-	Si	Porque a eso se dedica un arquitecto.	No	Cada quien enseña lo que quiere.	No	No	Pero tienen que vivir de algo.	Más obras	No pero es tedioso.
-	11	Ramon Marcos Noriega	8	2012	VI	Si	No	Si	S.E. II y S.E. V	Si	Para poder ejecutar cualquier obra o proyecto con fundamento.	No	En algunos casos considero, se debería enseñar criterios.	No	A veces	Dependiendo la complejidad en su enfoque.	Criterios actuales, tendencias, requerimientos básicos para estructuras.	Las bases de matemáticas avanzadas.
-	12	José Revueltas	6	2014		Si	Regular	No	-	Si	Es una de las consideraciones más importantes que se tienen que tener en cuenta para hacer cualquier tipo de arquitectura que sea factible.	No	Considero que hay una diferencia muy grande en la forma de enseñar una materia de las cuales deberíamos tener bases claras y no es así la mayoría de los arquitectos interpreta y calcula como diseña "subjetivamente" considerando sólo algunos aspectos por lo que no tienen un conocimiento integral sino disperso y no conocen ni interpretas toda la estructura en su conjunto.	No		Creo que es un trabajo dual, en la realidad considero debería tanto el arquitecto y el ingeniero hacer un trabajo complementario del cálculo estructural, ambos deberían estar consientes cómo es que trabajan y se comportan las estructuras.	Yo creo que la parte no sólo estructural se debería abordar se tendría que tomar la parte constructiva, y la parte de la interpretación de los resultados es muy importante además de los nuevos S.Estructurales, junto con materiales.	El predimensionamiento con argumentos, dimensionamiento de la cimentación encontrarle una utilidad al cross más práctica.
Libni Cervantes	1	Antonio García Gayou	4	2016	III	Si	Si	Si	S.E. II	Si	Es parte de nuestro trabajo, lograr que algo pueda hacerse y la estructura es parte de eso.	Si	He adquirido conocimientos que me han permitido hacer por completo un proyecto.	No	No	Porque es nuestra idea la que plasmamos y nosotros deberíamos culminarla por completo.	Adentrarnos más al cálculo.	Un poco el cálculo.
Hannia Velázquez	2	José Villagrán García	4	2015	IV	No	No	No	-	Si	Se me hace uno de los ámbitos más importantes de la arquitectura.	Si	Algunos profesores son muy dedicados y aprender muy bien, pero es anti pedagógico 3hrs. de clase.	No	A veces	Creo que si es bueno tener un ingeniero que nos ayude a los cálculos, pero también nosotros debemos tener noción.	Principalmente aplicaciones a hechos reales.	El cálculo.
Mariana Domínguez	3	José Revueltas	4	2015	IV	Si	Si	Si	S.E. III	Si	Porque a pesar de que todo se puede construir debemos preparar opciones en dado caso que nuestro proyecto lo requiera, hay que estar preparados.	Regular	Porque algunos docentes no se interesan en la enseñanza, simplemente ignoran el hecho de que se necesita aprender.	No	A veces	Me parece que puede ser una opción, pero no necesariamente cuando un buen arquitecto tiene las suficientes capacidades para hacerlo también.	Más tipos y más sistemas constructivos actuales.	A veces el procedimiento se me olvida o confundo algún valor con otro, pero de ahí en fuera no, son tan sistematicos que no resulta difícil seguir el procedimiento.
Minerva Villanueva	4	José Villagrán García	4	2015	III	Si	No	Si	S.E. III	Si	Para hacer un diseño adecuado de su obra tomando en cuenta los cálculos.	No	Los profesores enseñan casos diferentes y el que cambies de profesor te perjudica al no saber lo que ya enseñó en el nivel anterior.	No	No	El que debe es el arquitecto para considerar el diseño.	Sistemas un poco más complejos o reales para aplicarlos a la vida real.	Depende del método, porque al cambiarlo o usar uno más complicado confunde mucho.
Brenda Delgado	5	José Villagrán García	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Es importante porque de este modo se sostienen todos los edificios y nuestros proyectos no son nada sin tener estos elementos.	A veces	Algunas veces los profesores con los que he estado, se ve que saben mucho pero en ocasiones sus métodos de enseñanza no son factibles.	No	No	Porque los arquitectos también debemos pensar en ella de acuerdo a cómo estemos proyectando.	Cómo funcionan, con más detalle.	El análisis de los cálculos.
-	6	José Villagrán García	4	2015	IV	Si	Si	No	-	Si	Para tener un mayor entendimiento del comportamiento de sus diseños en la realidad.	Si	Creo que imparten lo suficiente.	No	Si	Porque puede que el arquitecto no tiene el 100% de los conociendo para realizar un buen calculo.		El cálculo de armaduras inclinadas.
-	7	José Villagrán García	4	2015	IV	Si	Regular	No	-	Si	Se debe saber cómo funcionan las estructuras para poder realizar un diseño bueno y seguro.	No	Todo lo hacen muy ingenieril, me gustaría ver clases más didácticas.	No	Si	Es parte de su trabajo, pero también deberíamos saberlo nosotros.		Entender cómo funcionan las estructuras, y aplicarlo a la vida real.
-	8	José Villagrán García	4	2015	IV	Poco	No	No	-	Si	Es importante ya que representa una parte del proceso creativo en el desarrollo de proyectos.	No	Creo que falta ligarlo más a la parte de proyectos.	No	A veces	Creo que nosotros deberíamos entender y señor los criterios estructurales.		La parte del cálculo.
Erika Martínez Palma	9		4	2015		Si	No	No	-	Si	Así es más completo nuestro desarrollo en la carrera, tienes más posibilidades de tener un buen trabajo y no tendrías necesidad de contratar un estructurista.	No	A veces está muy incompleto el plan y cada profesor da lo que cree más conveniente.	No	Si	Pero también nosotros como arquitectos deberíamos desempeñar esa habilidad.	Más acerca de materiales.	El cálculo.
Diana Paredes Bedolla	10	Antonio García Gayou	4	2015	IV	Si	Si	Si	S.E. III	Si	Creo que es importante que tengamos un conocimiento acerca de cómo funciona e interviene la física en las construcciones y proyectos que desarrollamos.	A veces	En mi opinión los profesores de sistemas durante mis primeros tres semestres no tenían claros los alcances de la materia para aportar a los alumnos.	No	A veces	Pero en un campo de especialización, no creo que nosotros como arquitectos debamos ignorar esos conocimientos.	Creo que algunas definiciones o conceptos no están muy claros por ser explicado de manera muy teórica. Así como una vinculación en el área de proyectos de la materia de sistemas.	Algunos cálculos, utilización de fórmulas muy elaboradas y en ocasiones, memorización de cifras que no cambian como pesos y volúmenes.

Brenda Franco Roa	11		4	2015	IV	Si	Si	No	-	Si	Porque gracias a la estructura se puede diseñar.	Regular	La Facultad en los programas si, pero los profesores no, ya que ellos mismos no les dan la importancia que merece.	No	Puede ser	Pero es mejor que el arquitecto lo calcule.	La lógica del funcionamiento.	El diseño, los criterios dependiendo el proyecto.
Mariana García	12	Antonio García Gayou	4	2015	III	Si	Regular	Si	S.E. II	Si	Para darse una idea de cómo diseñar.	No	Porque luego no te enseñan bien y te hacen bolas.	No	No	Lo que él debería hacer es orientarnos a nosotros para tener un mejor propuesta.	Detallar más la bajada de cargas.	Bajada de cargas y el diseño de cimentación.
-	13	Antonio García Gayou	4	2015	III	Si	No	Si		Si	Porque todo proyecto está conformado por estructura.	No	No todos los maestros la imparten de la mejor manera, unos te enseñan y otros fingen enseñarte.	No	No	Nosotros podemos ser capaces de calcular sin necesidad de requerir de otro profesional.	Sistemas más particulares, creo que vemos todo muy general.	Si explican bien, nada.
-	14	Antonio García Gayou	4	2015	III	Si	No	Si	S.E. II	Si	Son importantes para diseñar cosas que sean posibles de construir y seguras para los usuarios.	No	Algunos profesores no saben transmitir sus conocimientos, otros complican mucho los temas.	No	No	Creo que si profundizamos más en el tema somos capaces de hacerlo.	Profundizar más en los temas y enseñanza nueva, más modernos, porque creo que ya hay cosas obsoletas.	No sé tanta física la cual es importante para entender al cien por ciento.
Mitzi Ruvalcaba Flores	15	Antonio García Gayou	4	2015	IV	Si	Regular	No		Si	Ya que creo que para poder argumentar un buen diseño es necesario saber de estructuras para ver que conviene más, incluso para estar consiente de que se puede construir.	A veces	Creo que todo depende del profesor, pues he tenido tanto buenos como malos.	No	No	Nosotros debemos desde hacer el diseño hasta la estructura y construcción.	Explicar más cómo se calcula.	Por el momento no.
-	16	Max Cetto	4	2015	IV	Si	No	No	-	Si	Porque se tiene que pensar la estructura en el proyecto para después construir.	Regular	Algunos profesores no saben dar clase y son poco claros.	No	No	El arquitecto debe ser un profesionista completo.	Predimensionamiento y cálculo de cimentaciones.	Diagrama de cargas.
Manuel Barriel Leños	17	Jorge González Reyna	4	2015	IV	Si	Si	No	-	Si	Es básico para obtener criterios de diseño.	No	Porque hay profesores extremadamente malos.	No	No	Porque los arquitectos diseñan a partir de ese criterio estructural.	Aprender a usar programas BIM, seguimos aprendiendo las mismas técnicas que se enseñaban cuando no había celulares.	Nada
Leslie Rubio Rojas	18	Jorge González Reyna	4	2015	IV	Si	Si	No	-	Si	Para hacer proyectos construibles.	Si	He aprendido lo necesario.	Si	Si	Porque tienen un conocimiento más amplio y específico sobre el tema.	Aprender los nuevos métodos para construir.	No
Angela Garduño Pineda	19	Max Cetto	3	2015	IV	Si	No	No	-	Si	Porque los mejores proyectistas son excelentes estructuralistas y sólo así se puede asegurar la seguridad del usuario en sismos, tsunamis, etc.	No	Porque debería de haber un curso de física previo a sistemas.	No	No	Porque los arquitectos son perfectamente capaces de aprender a calcular estructuras y es algo básico en nuestra formación.	Su aplicación directa en la obra y no sólo gráfica.	Todo
Ma. Fernando Martínez Piedra	20	Ramón Marcos Noriega	6	2014	IV y V	Mucho	Si	Si	S.E. III y S.E. IV	Si	Porque todo va ligado, no puedes diseñar sin saber cómo se va a sostener, y sin saber cómo actuarán las fuerzas de la forma y que estructura será la adecuada para que se pueda sostener sin problemas.	No	Algunos profesores lo enfocan directamente hacia la física, y a veces no se enfocan directamente a la arquitectura y ambas van de la mano.	No	No	Porque un arquitecto al igual que un ingeniero, construye, y ambos deben tener nociones de diseño y construcción.	Reforzar el conocimiento de reacción de una estructura.	Siempre habrá algo que se complique, pero siempre es necesario enfocarte, analizarlo y aprenderlo.
-	21	Domingo García Ramos	4		IV	Si	Poco	No	-	Si	Para tener una idea de la importancia que es manejar los materiales y su trabajo.	Si	Porque hay buenos profesores.	No		El ingeniero debe calcular la estructura para que no se caiga el edificio, pero el arquitecto debe tener un criterio para hacer una propuesta que el ingeniero no modifique mucho.	Considero que al nivel que voy aún hay mucho por aprender, sin embargo las estructuras son complejas.	Un poco el método de Cross y su cálculo.
Nancy Romero Santos	22	José Revueltas	4	2016		Si	Regular	No	-	Si	Considero que es muy importante tener conocimientos para poder considerarlos al momento de diseñar.	Si	Nos dan estructuras desde primer semestre buscando que las tomemos en cuenta.	No	Si	Es necesario trabajarla en conjunto, ya que no nos especializamos en el tema.	Nuevos métodos de estructuras.	El cálculo, porque cada caso es diferente y aunque el proceso es similar la complejidad es distinta.
Paola Paredes Montoya	1	Carlos Lazo	2	2017	II	Si	Poco	No	-	Si	Porque es algo fundamental para la arquitectura.	Si	Porque hay buenos arquitectos que enseñan adecuadamente.	No	No	Porque el arquitecto tiene que tener conocimiento de la estructura de su edificio.	Nada	Bajada de cargas.
Rafael Cervera	2	Carlos Lazo	2	2017	II	Si	Regular	No	-	Si	Para saber cómo la edificación puede sostenerse en pie.	Si	He tenido una maestra buena.	No	No	Es cuestión de arquitectos e ingenieros.	Armaduras	Armaduras y bajada de cargas.
-	3	Domingo García Ramos	1	2017	II	Si	Si	No	-	Si	Ya que se puede ver la fuerza que se tiene y las cargas que soportan.	Si	Los profesores enseñan a cada paso a estructurar.	Si	No	Es cuestión del arquitecto para poder tener en cuenta la estructura que se le dará al edificio.	Manejo de cargas.	Los ángulos en las estructuras.
Sergio Rojas Orueta	4	Carlos Lazo	2	2017	II	Si	No	No	-	Si	Para poder diseñar estructuralmente.	No lo sé		No	Si	Pero el arquitecto debiera ser ingeniero también.	Todo, cómo hacer cúpulas.	Física
-	5	Carlos Lazo	1	2017	II	Si	Si	No	-	Si	Es básico e indispensable.		Creo que aún no tengo la experiencia necesaria para criticar la manera en la que se imparte la asignatura.	No	No	El arquitecto es capaz de hacerlo.	Apenas estoy en 2do, así que muchísimo más	Actualmente nada.
-	6	Domingo García Ramos	2	2017	II	Si	Poco	No	-	Si	Porque es parte importante del diseño.	Si	Porque van de acuerdo a lo que vemos en otras materias.	Si	No	No sólo él, los arquitectos en sí deberíamos calcular nuestras propias estructuras.	Pues mucho aún	Todo lo he entendido.
-	7	Domingo García Ramos	2	2017	II	Poco	No	No	-	Si	Es una parte importante del diseño, no puedes sólo proyectar sin tener algún conocimiento y así hacer las cosas más realistas.	No	Algunos profesores tratan de enseñarte otras cosas sin enfocarse en el temario y se necesitan más horas de clase.	No	No	Quizá el ingeniero y el arquitecto deban hacerlo los cálculos en conjunto y entre los dos apoyarse.	Ejemplos aplicados a la vida real	
-	8	Domingo García Ramos	2	2017	II	Si	Si	No	-	Si	Porque tendrían más conocimientos al momento de realizar sus propios proyectos.	Regular	En cuanto a enseñanza si, pero se necesitan más horas de clase.	No	A veces	Creo que tanto el ingeniero civil como el arquitecto pueden hacerlo.	Más ejemplos para aplicarlos a la vida cotidiana.	No
Aarón Bernal Durán	9	Carlos Lazo	2	2017	II	Si	Regular	No	-	No	Con su conocimiento es suficiente.	Si	Son interesantes y entretenidas aunque confusas.	No	No	Porque un arquitecto debe comprender el tema.	Bastante porque es necesario comprender mejor todo el tema para tener una mejor edificación.	Todo
Miguel Ángel Escobar	10	Carlos Lazo	2	2017	II	Si	Poco	No	-	Si	Pero necesita de otras personas.	Si	Son interesantes.	No				Bajada de cargas.
Fernando Merlín González	11	Domingo García Ramos	2	2017	II	Si	Si	No	-	Si	Ya que es indispensable saber cómo es que un edificio se sostiene.	Si	Plantean problemas de la vida real que te ayudarán en algún momento.	No	A veces	Depende de la circunstancia, no está de más que el arquitecto y un ingeniero civil la calculen.	Prácticas en la teoría, ayuda que los estudiantes construyan en la vida real y hacer de un lado lo teórico.	No
-	12	Carlos Lazo	2	2016	II	Poco	No	Si	S.E. I	Si	Es básico para el correcto desarrollo de la obra.	No	No se lleva un correcto desarrollo de los temas.	No	No	Creo que también debe de saber manejar el cálculo, pero no es algo exclusivo de ellos.	Cargas por peso, variables.	En general no
-	13	José Villagran García	2	2016	II	Poco	Poco	No	S.E. I y S.E. II	Si	Porque son la base de todo.	No	Porque no llevan un correcto orden de aprendizaje y depende de cada maestro.	No	No	Cada quien a su chamba y esta también es nuestra.	Cargas por peso, variables, factores de riesgo.	Simplemente no he mostrado el interés necesario.



En las dos gráficas anteriores se puede observar que a pesar de que a casi el 90% de los alumnos encuestados les gustan los Sistemas Estructurales, solamente un 34% de los encuestados considera ser bueno o tener habilidad para las estructuras, por lo que más del 60% de los que les gustan las estructuras se les complica el aprendizaje en el campo, muy a pesar de su gusto por ellas.

En las dos gráficas anteriores se puede observar que a pesar de que a casi el 90% de los alumnos encuestados les gustan los Sistemas Estructurales, solamente a un 34% de los encuestados considera ser bueno o tener habilidad para las estructuras, por lo que más del 60% de los que les gustan se les complica el aprender estructuras a pesar de su gusto por ellas.



En las gráficas anteriores se puede observar que aunque afortunadamente casi el 100% de los alumnos encuestados consideran que es necesaria la asignatura de Sistemas Estructurales en el Plan de Estudios de la Facultad, el 23% de los alumnos encuestados opinan que es el Ing. Civil quién debiese calcular la estructura, contradiciendo en su afirmación anterior, un 13% considera que en algunas ocasiones si deberá ser el ingeniero civil el que calcule la estructura, como en el caso de obras muy grandes y sólo el 62% de los alumnos encuestados considera que esto no debe ser así, sino que es el arquitecto quién debe calcular y diseñar la estructura puesto que es él quién está diseñando el edificio y por ende también la estructura.

Aún con ello el resultado es bastante óptimo ya que más de la mitad considera que ya que el arquitecto es quién está diseñando el edificio también es quién debe definir la estructura, afirmando su respuesta anterior, y el 13% opina que en algunos casos si es necesario un ingeniero como en las obras demasiado grandes, en mi opinión más bien creo que en estos caso como en las obras grandes no se requiere de un ingeniero civil, sino de un especialista en estructuras, y éste puede ser tanto un ingeniero como un arquitecto.

Lo que realmente me preocupa es la respuesta del compañero Victor Balzuada del taller Max Cetto, quién afirma que los profesores si consideran que está de más la asignatura de Sistemas Estructurales en la facultad, ya que desafortunadamente comparto su opinión puesto que me ha tocado conocer algunos profesores que si lo piensan, principalmente en el área de proyectos; y es necesario recordar que los profesores tienen una gran responsabilidad frente a la formación de los alumnos pues son el ejemplo a seguir.

Bibliografía de apoyo:

- CHING, Francis, *“Manual de Estructuras Ilustrado”*, Editorial Gustavo Gilli, Barcelona 2014.
- T. Y. Lin & S. D. Stotesbery, *“Conceptos y Sistemas Estructurales para Arquitectos e Ingenieros”*, Editorial Limusa, México 1991.
- ENGEL, Heino, *“Sistemas Estructurales”* Editorial Gustavo Gilli, Barcelona 2001.
- ARNAL, Simón y BETANCOURT Suárez, *“Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”*, Editorial Trillas, México 2011.
- TIPPENS, *“Física, Conceptos y Aplicaciones”*, Editorial Mc Graw Hill, México 2011.
- TORROJA MIRET, Eduardo, *“Razón y ser de los tipos Estructurales”*, Editorial Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 2010.
- HOLLINGSWORTH, Mary, *“L’Arte nella storia dell’uomo (El arte en la historia del hombre)”*, Editorial Susaeta, Madrid 1991.
- IMCA *“Manual de Construcciones en Acero”*, Editorial Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, México 2013.
- PÉREZ ALAMÁ, VICENTE, *“Diseño y Cálculo de estructuras de Concreto Reforzado”*, Editorial Trillas, México 1991.
- HUERTA SANTIAGO, *“Mecánica de las bóvedas de fábrica: El Enfoque del Equilibrio”*, Editorial Universidad Politécnica de Madrid, España 2005.
- SCHLAICH JORG *“La esencia de las estructuras ligeras”*, Editorial Marijke Mollaert, Bruselas 2000.
- FÉLIX ESCRIG PALLARÉS, *“Las grandes estructuras del Renacimiento y el Barroco”*, Universidad de Sevilla, Sevilla 2002.
- CHARLESON, ANDREW, *“La Estructura como Arquitectura, un libro para arquitectos e ingenieros civiles”*, Editorial Routledge, Nueva York 2015.
- HOLLE HITCHCOCK BECKER, *“La competencia estructural para Arquitectos”*, Editorial Routledge, Nueva York 2015.
- LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, *“Los Grandes Trabajos de la Humanidad”*, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963.
- WÜRTTEMBERGISHER KUNSTEVEREIN, *“La Bauhaus”*, Editorial Instituto de Relaciones culturales con el exterior, Stuttgart 1976.

REFERENCIA DE IMÁGENES

CAPÍTULO 1. CONTEXTO

- Imagen 1. Estatuilla de Imhotep. [fotografía], Museo del Louvre. Autor desconocido.
- Imágen 2. Pirámide escalonada de Zoser, 2650 a.C. construida por Imhotep. [imagen], obtenida de LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963.
- Imagen 3. Cúpula del Panteón de Agripa en Roma, [imagen], obtenida de LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963.
- Imagen 4. Planta y corte de la cúpula del Panteón de Agripa, [imagen], obtenida de LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963.
- Imagen 5. Cúpula de Brunelleschi, [imagen], obtenida de LAFFONT ROBERT y BOUDET JACQUES, “Los Grandes Trabajos de la Humanidad”, Editorial Talleres Gráficos Guada, Barcelona 1963.
- Imagen 6. École National des Ponts et Chaussées, en Francia. 1747, recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%C3%89cole_des_Ponts_ParisTech_02.JPG
- Imagen 8. Plantas del proceso de la casa Villa Savoye. LE CORBUSIER y P. JEANNERET, Oeuvre complète 1929-1934
- Imagen 9. García Rodríguez (2015) “Casa Curruchet”, [fotografía], La Plata Argentina.
- Imagen 10. García Rodríguez (2015) “Mobiliario en el interior de la casa Curruchet” [fotografía], La Plata Argentina.
- Imagen 11. Plantas arquitectónicas, de la casa Curruchet, [imagen] obtenida de LE CORBUSIER y P. JEANNERET, Oeuvre complète 1929-1934
- Imagen 12. Edificio de la Bauhaus, [imagen] obtenida de WÜRTTEMBERGISHER KUNSTEVEREIN, “La Bauhaus”, Editorial Instituto de Relaciones culturales con el exterior, Stuttgart 1976.
- Imagen 13. Estación de bomberos en Vitra, primer edificio de Zaha Hadid, 1981, [imagen] recuperada de <https://www.vitra.com/es-mx/campus/architecture/architecture-fire-station>
- Imagen 14. Turing Torso, Santiago Calatrava, [imagen] obtenida de ANDREW W. CHARLESON, “Structure as Architecture”, editorial El Server, Boston, 2005.
- Imagen 15. Interior del Museo del Mañana en Río de Janeiro de Santiago Calatrava, [imagen] obtenida de ANDREW W. CHARLESON, “Structure as Architecture”, editorial El Server, Boston, 2005.
- Imagen 16. Interior de la Casa Luis Barragán, [imagen] obtenida de <https://urbesblog.wordpress.com/2016/11/22/la-casa-estudio-luis-barragan/>
- Imagen 17. Embajada de México en Berlín, por González de León y Serrano, 2000. [imagen] obtenida de ANDREW W. CHARLESON, “Structure as Architecture”, editorial El Server, Boston, 2005.

- Imagen 18. Cúpula del Reichstag en Berlín, por Foster and Partners, 1999. [imagen] recuperada de <https://www.gettyimages.com/detail/photo/reichstag-dome-berlin-by-norman-foster-high-res-stock-photography/546210127>
- Imagen 19. Tribunales de justicia en Burdeos, Francia, Richard Rogers, 1998. [imagen] obtenida de ANDREW W. CHARLESON, “Structure as Architecture”, editorial El Server, Boston, 2005.
- Imagen 20. Vestíbulo de la BRIT Shool en Inglaterra, [fotografía] Richard Branson.
- Imagen 21. Ópera de Sydney de Utzon, [imagen] recuperada de https://es.wikipedia.org/wiki/Ópera_de_S%C3%ADdney

CAPÍTULO 2. SISTEMA ESTRUCTURAL

- Imagen 1. Arcos en la antigüedad, [Imagen] obtenida del HUERTA, SANTIAGO, “Mecánica de las bóvedas de fábrica”, FA UNAM 2017.
- Imagen 2. Idea de Hooke, sobre la analogía entre un arco y una catenaria, [Dibujo] de Poloni, 1748.
- Imagen 3. Líneas de empuje máxima y mínima en un arco, [Imagen] obtenida del HUERTA, SANTIAGO, “Mecánica de las bóvedas de fábrica”.
- Imagen 4. Teoría del equilibrio en arbotantes, [Imagen] obtenida del HUERTA, SANTIAGO, “Mecánica de las bóvedas de fábrica”.
- Imagen 5. Maqueta polifuncional, [Imagen] recuperada de www.flickr.com
- Imagen 6. Estructura de madera, [imagen] recuperada de <http://vilssa.com/la-madera-empalmada-estructural>.
- Imagen 7. Flexión del acero, [imagen] recuperada de <https://es.wikipedia.org/wiki/Acero>
- Imagen 8. Demostración del efecto de la escala, según Galilei, [Imagen] obtenida de Schlaich “La esencia de las estructuras ligeras”.
- Imagen 9. Aplicación de la Teoría del efecto de la escala de Galilei en la Arquitectura. [Imagen] obtenida de La Ciencia Medieval, curso impartido por S. Huerta, FA UNAM 2017.
- Imagen 10. El efecto de la escala, aplicado a las cúpulas. Edición propia, de las imágenes Cúpula de la Iglesia de la Consolidación, por Alberti en Cola de Caprarola con 15m de diámetro, recuperadas de HUERTA, SANTIAGO, “Mecánica de las bóvedas de fábrica”, FA UNAM 2017.
- Imagen 11. Golden Gate, primer puente en salvar un gran claro, con 2,7km de longitud, diseñado por el Ing. Joseph Strauss en el s.XX. [Imagen] recuperada de <https://www.disfrutasanfrancisco.com/golden-gate>
- Imagen 12. Ciudades amuralladas en la antigüedad. [Imagen] recuperada de www.artinternacional.blogspot.mx
- Imagen 13. Ciudades amuralladas en la antigüedad. [Imagen] recuperada de www.artinternacional.blogspot.mx
- Imagen 14. Templo Maya en la zona arqueológica de Tulum. [foto] autoría propia, Zona Arqueológica, Chiapas 2015.
- Imagen 15. Casa Maya, [Imagen] recuperada de <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/los-mayas-especialistas-en-arquitectura-bioclimatica/>

- Imagen 16. Armaduras tipo Pratt, [imagen] recuperada de <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>
- Imagen 17. Armadura tipo Howe, [imagen] recuperada de <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>
- Imagen 18. Armaduras tipo Warren, [imagen] recuperada de <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>
- Imagen 19. Armadura tipo Fink, [imagen] recuperada de <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>
- Imagen 20. Armadura de cuerda y arco, [imagen] recuperada de <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/armaduras.html>
- Imagen 21. Casa Molecule. [Imagen] recuperada de <http://poordesigner.com/bepoor/la-casa-molecule-un-diseno-bienpoor/>

CAPÍTULO 3. ESTÁTICA

- Imagen 1. Sistema de Fuerzas, [imagen] recuperada de <http://www.principia-malaga.com>

CAPÍTULO 4. LA OBTENCIÓN DE LA FORMA

- Imagen 1. Ubicación geográfica conforme Google Earth, [captura] recuperada de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Imagen 2. Mapa de zonificación geotécnica, [imagen] obtenida de ARNAL SIMÓN Y BETANCOURT SUÁREZ, “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, Trillas, 2015.
- Imagen 3. Ubicación geográfica conforme Google Earth. [captura] recuperada de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Imagen 4. Uso de suelo respecto al predio [captura] recuperada de Secretaria de Desarrollo Urbano y vivienda.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DEL SISTEMA

- Este Capítulo no cuenta con recuperación de imágenes.

CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL SISTEMA

- Imagen 1. Tipos de edificios, [imagen] obtenida de ARNAL SIMÓN Y BETANCOURT SUÁREZ, “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, Trillas, 2015.
- Imagen 2. División de zonas en el D.F., [imagen] obtenida de ARNAL SIMÓN Y BETANCOURT SUÁREZ, “Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal”, Trillas, 2015.

GRÁFICOS

- Todos los gráficos que en el documento se encuentran, fueron realizados por autoría propia con el fin de ejemplificar los temas mencionados y poder ser explicados de forma más clara.