



**UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.**

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA CASA HABITACIÓN DE TRES NIVELES DESPLANTADA SOBRE ARCILLAS EXPANSIVAS EN EL MUNICIPIO DE GABRIEL ZAMORA, MICHOACÁN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Larisa Huanosto Vázquez.

Asesor: Ing. Carlos Iván Troncoso Ortega.

Uruapan, Michoacán, a 08 de abril 2019



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.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo:.....	5
Pregunta de investigación:.....	5
Justificación:	6
Marco de referencia:	7
CAPÍTULO 1 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	9
1.1 Diseño estructural.....	9
1.2 Proceso del diseño estructural.....	10
1.3 Consideraciones de diseño.....	11
1.4 Criterios de diseño.....	15
1.5 Reglamentos de diseño.....	17
1.6 Acciones en las estructuras.....	19
1.6.1 Clasificación de acciones.....	19
1.7 Clasificación de cargas.....	21
1.7.1 Cargas vivas.....	22
1.7.2 Cargas muertas.....	24
1.7.3 Cargas accidentales.....	26
1.7.3.1 Sismos.....	27
1.7.3.2 Parámetros de los sismos.....	29
1.7.3.3 Sismicidad en México.....	29
1.7.3.4 Diseño por sismo.....	30
1.8 Hundimientos diferenciales.....	33
1.9 Materiales estructurales para vivienda.....	35
1.9.1 Propiedades estructurales.....	36
1.9.2 Materiales estructurales más comunes para la construcción de una casa habitación.....	39

1.9.2.1 Mampostería.....	39
1.9.2.2 Concreto reforzado.....	40
1.9.2.3 Madera.....	42
1.9.2.4 Acero.....	44
1.10 Elementos estructurales básicos.....	46
1.10.1 Elementos lineales.....	46
1.10.2 Elemento planos.....	48
CAPÍTULO 2 SUELOS.....	50
2.1 Definición del suelo.....	50
2.1.2 Naturaleza del suelo.....	51
2.1.3 Suelos residuales y transportados.....	52
2.2 Minerales constitutivos de los suelos.....	53
2.2.1 Minerales constitutivos de los suelos gruesos.....	54
2.2.2 Minerales constitutivos de las arcillas.....	54
2.2.3 Identificación de Minerales de Arcilla.....	57
2.3 Propiedades físico-química de las arcillas.....	59
2.3.1 Relaciones entre las fases sólida y líquida en una arcilla.....	59
2.4 Fases del suelo.....	60
2.4.1 Relaciones fundamentales para el manejo de las propiedades mecánicas de los suelos.....	61
2.4.3 Pesos específicos o volumétricos.....	65
2.5 Plasticidad.....	69
2.5.1 Estados límites de consistencia.....	69
2.5.2 Carta de Plasticidad.....	74
2.6 Estructuración de los suelos.....	76
2.6.1 Clasificación de suelos.....	77
2.6.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	78
2.6.3 Curva granulométrica.....	79
2.6.4 Suelos gruesos: análisis por mallas.....	81
2.6.5 Suelos finos, análisis con hidrómetro.....	83
2.6.6 Clasificación de los suelos en el terreno.....	84

2.7 Prueba de consolidación unidimensional de los suelos.	85
2.7.1 Analogía mecánica de Terzaghi.	88
2.8 Pruebas de compresión triaxial.	90
2.8.1 Prueba de compresión simple.	93
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN.	94
3.1 Definición de cimentación.	94
3.2 Diseño estructural de cimentaciones.	94
3.2.1 Verificación de la seguridad de las cimentaciones.	95
3.3 Clasificación de las cimentaciones.	97
3.4 Zapatas.	97
3.5 Losas de cimentación.	99
CAPÍTULO 4 RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN.	104
4.1 Generalidades.	104
4.1.1 Objetivo.	104
4.1.2 Alcance del proyecto.	105
4.2 Resumen ejecutivo.	105
4.3 Entorno geográfico.	105
4.3.1 Macro y micro localización.	105
4.3.2 Hidrología regional y de la zona en estudio.	107
4.3.3 Uso de suelo regional y de la zona en estudio.	108
4.4 Informe fotográfico.	108
4.4.1 Problemática.	110
4.4.2 Estado físico actual.	111
4.5 Alternativas de solución.	112
4.6 Procesos de análisis.	112
CAPÍTULO 5 METODOLOGÍA.	114
5.1 Método empleado.	114
5.1.1 Método matemático.	115
5.2 Enfoque de la investigación.	116
5.2.1 Alcance de la investigación.	117
4.3 Diseño de la investigación.	117

5.4 Instrumentas de recopilación de datos.....	118
5.5 Descripción del proceso de investigación.	118
CAPÍTULO 6 CÁLCULO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	120
6.1 Memoria de cálculo.	120
6.2 Estructuración del proyecto.....	120
6.2.1 Clasificación de la estructura.	122
6.2.2 Reglamentos.	122
6.3 Modelado de la estructura.....	123
6.3.1 Modelado en SAP2000.	124
6.4 Análisis de cargas de la estructura.	126
6.5 Análisis estructural.	136
6.6 Diseño de trabes.	138
6.7 Diseño de columnas.....	151
6.8 Diseño de la cimentación.	159
CONCLUSIONES.....	168
BIBLIOGRAFÍA	172
Otras fuentes de información.	173
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Cuando el hombre abandona su vida nómada y decide vivir en el sedentarismo; surge como necesidad elaborar estructuras que lo protejan de los peligros de la naturaleza; las primeras construcciones eran frágiles y sin estabilidad, pero con la evolución del hombre se fueron creando nuevas estructuras en las que se integraban columnas, muros, así como vigas en piedra y barro cocido, con el fin de prevenir el colapso de la estructura.

Entonces se dice que una estructura es un sistema o conjunto de partes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. Su finalidad es resistir y transmitir las cargas del edificio a los apoyos manteniendo el espacio arquitectónico, sin sufrir deformaciones incompatibles. Los requisitos o exigencias básicas que una estructura debe cumplir son: equilibrio y estabilidad.

Por lo tanto, el diseño estructural es crear una estructura segura y que satisfaga también un conjunto de diversos requisitos impuestos por factores tales como la función de la estructura, condiciones del lugar, aspectos económicos, estética, facilidades para construir y las restricciones legales.

El diseño de una estructura no sólo abarca el análisis de columnas, trabes y losas, sino también se tienen que tomar en cuenta las propiedades elásticas tanto de los materiales como del suelo en donde se va a cimentar, puesto que el suelo es un

factor muy importante a la hora de diseñar una estructura ya que es el que soportará toda la carga y si la capacidad del suelo no es la adecuada es un hecho que generará algunos acontecimientos secundarios no determinados durante la fase de diseño del proyecto por ello es que existe la mecánica de suelos.

La mecánica de suelos según Terzaghi (1973), es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tenga o no materia orgánica.

Al acudir a la biblioteca de la Universidad Don Vasco se encontraron dieciséis tesis relacionadas con el tema Diseño Estructural y una sobre el Manejo y Uso de Arcillas, un ejemplo de ello es:

El estudio realizado en el año 2008 sobre el “Análisis y diseño estructural de una casa habitación para la colonia Ampliación Revolución” cuyo autor es Hugo Alberto Damián Aguayo, el objetivo general fue realizar el cálculo estructural en casa habitación de tal manera que el resultado fuera satisfactorio como consecuencia de la adecuada distribución de los elementos que la integran. El autor llegó a la conclusión de que el cálculo estructural es de suma importancia al momento de diseñar una casa habitación, aunque durante mucho tiempo se mantuvo la creencia de que no era así, de esta manera, un estudio evita colapsos totales o parciales de la estructura que provocarían pérdidas humanas y materiales.

Planteamiento del problema.

En varias localidades del país es muy poco usual que a la hora de construir una vivienda se contrate a un ingeniero capacitado para hacer el análisis y diseño estructura, puesto que se argumenta que es innecesario debido al costo que este implica además se cree que con la experiencia del albañil es más que suficiente para la seguridad de una construcción. Por otra parte, piensan que les favorece ahorrarse el dinero del diseño y el estudio de suelos, lo cual es una idea errónea, puesto que es un porcentaje mínimo al costo total del proyecto y su seguridad.

Dejando a un lado el costo y la seguridad, se sabe que no todos los diseños de una casa son exactamente los mismos, ya que las condiciones del terreno nunca serán iguales, es por ello que cada terreno necesita su análisis correspondiente para así poder diseñar y construir la vivienda.

Para ejemplificar esto, en esta investigación se abordará el tema diseño estructural de una casa habitación de tres niveles desplantada sobre arcillas expansivas en el municipio de Gabriel Zamora y se sabe que al momento de estar trabajando con suelos expansivos resulta ser un gran problema a la hora de construir, ya que los incrementos del volumen no se presentan de manera uniforme, sino todo lo contrario al producirse incrementos en distintas zonas y al contraerse generan asentamientos, que pueden dañar severamente la estructura.

Además se tiene que considerar que el municipio de Gabriel Zamora se encuentra en la zona sísmica considerada como alta conforme a la regionalización sísmica de la Comisión Nacional de electricidad.

A continuación, se presentan algunos eventos ocurridos en el municipio de Gabriel Zamora los cuales se deben tomar en cuenta al momento de hacer un diseño estructural de una casa de tres niveles cimentada sobre un suelo cohesivo:

- El 19 de septiembre de 1985 se suscitó un temblor de 8.1 en la escala de Richter que sacudió todo el estado, en el municipio de Gabriel Zamora hubo estragos a viviendas y agrietamientos de estructuras.
- En el año de 1994 hubo una inundación en la zona centro de la localidad de Lombardía por exceso de lluvia registrándose alturas del agua de hasta un metro causando daños a negocios y viviendas.
- El 20 de noviembre del 2007 se registró una tormenta de granizo ocasionando daños severos en viviendas de cartón, en cristales de vehículos y daños leves a la agricultura además de algunos habitantes lesionados en la cabecera municipal.
- En la mañana del 1ro de febrero del 2010 según reporte de Protección Civil se suscitó un fenómeno de lluvia extrema acompañada de tormenta de granizo en gran parte del municipio afectando principalmente las localidades de Cajones, Cobano y Lombardía, generando daños en parcelas de cultivo, en viviendas, redes de electrificación, establecimientos y vehículos.

Por lo tanto, lo anterior conduce a preguntar lo que será la base de esta investigación ¿cuál es el diseño estructural adecuado para una casa habitación de tres niveles desplantada sobre arcillas expansivas?

Objetivo.

Objetivo general:

Analizar y diseñar los elementos estructurales de una casa habitación de tres niveles la cual estará desplantada sobre arcillas expansivas, ubicada en la localidad de Gabriel Zamora, Michoacán.

Los objetivos particulares del presente proyecto son los siguientes:

1. Definir el diseño estructural de la vivienda.
2. Cumplir con las Especificaciones de Diseño del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (2004) en sus Normas Técnicas Complementarias.
3. Obtener los elementos mecánicos máximos actuantes en los elementos estructurales principales y posteriormente realizar el diseño.
4. Señalar el origen, clasificación, propiedades y características de las arcillas.
5. Realizar un estudio de mecánica de suelos y así obtener como resultado la capacidad de carga que posee dicho suelo.
6. Proponer una cimentación adecuada para el tipo de suelo.

Pregunta de investigación:

Se conocen como suelos expansivos aquellos que presentan cambios de volumen cuando varía su humedad o contenido de agua.

Los materiales de arcilla, tienen la capacidad de absorber una gran cantidad de agua y retenerla debido a su estructura, el agua produce un incremento del volumen en las arcillas, pero también una drástica reducción de su volumen cuando el agua que retenía se evapora. Resulta ser un gran problema a la hora de construir, ya que los incrementos del volumen no se presentan de manera uniforme y al momento de contraerse generan asentamientos, que pueden dañar severamente la estructura.

Por otra parte se sabe que el municipio de Gabriel Zamora se encuentra en la zona sísmica considerada como alta conforme a la regionalización sísmica de la Comisión Nacional de electricidad.

Debido a las problemáticas antes señaladas se formula la siguiente cuestión a resolver con esta investigación:

¿Cuál es el diseño estructural adecuado para una casa habitación de tres niveles desplantada sobre arcillas expansivas?

Justificación.

Al realizar la presente investigación se podrá comprobar que es importante el análisis y diseño estructural de una casa habitación y más porque estará desplantada sobre arcillas expansivas, las cuales presentan un gran problema a la hora de construir, debido a que al estar expuestas a un líquido genera un fenómeno de hinchamiento, pero a la hora de que el líquido retenido se seca su volumen disminuye drásticamente.

Por otra parte, se obtendrá el tipo de cimentación que se debe emplear cuando se trabaja con este tipo de suelo, el cual tiende a cambiar de volumen drásticamente al estar expuestos a líquidos.

Además se beneficiarán a todos aquellos alumnos de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco y personas en general, que estén interesadas en conocer acerca del diseño estructural de una casa habitación cimentada sobre arcillas expansivas los cuales tendrán acceso a los resultados obtenidos.

Marco de referencia.

El municipio de Gabriel Zamora según el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), se localiza al suroeste del Estado, limita al norte con Nuevo Parangaricutiro, Uruapan y Taretan, al este con Nuevo Urecho, al sur con Múgica y al oeste con Parácuaro. La extensión superficial es de 367433 Km². La hidrografía se constituye por los ríos el Marqués, Santa Casilda, Barranca Honda y Tziritzícuaru; arroyos: de la Zorra, Las Pintadas y la Escondida; presa del Cupatitzio. El clima es tropical con lluvias en verano y al centro, seco estepario con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 744.0 milímetros y temperaturas que oscilan de 17.0 a 35.0 grados centígrados.

En el municipio dominan los bosques tropicales deciduos con zapote, plátano, ceiba, parota y tepeguaje; y el tropical espinoso, con teteche, huisache, viejito, cardones y amole. Su fauna la conforman: mapache, zorrillo, tlacuache, coyote, comadreja, armadillo, ardilla, ocelote y paloma.

De acuerdo a la página electrónica www.anr.gob.mx (2017), la fisiografía del municipio de Gabriel Zamora está conformada por un 62.16% de Eje Neovolcánico y un 37.84% de Sierra Madre del Sur.

Además el municipio cuenta con una geomorfología de Montaña, Lomeríos y Colinas, la parte de montaña se encuentra en la parte norte y sureste subdividiéndose en: Montaña con disección ligera de 100 a 250 m/km² y Montaña con disección mediana de 250 a 500 m/km². La parte de Lomeríos localizada en la este, oeste suroeste y noroeste consiste en cerros (Lomeríos) con una disección ligera de 40 a 60 (m/km²) tiene una extensión de 222.68 Km² y por ultimo lo concerniente a Colinas ubicadas en las parte centro y sur del municipio subdividiéndose en colinas con disección fuerte de 30 a 40 m/km² y colinas con disección ligera de 15 a 20 m/km².

Conforme al Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, cuaternario y plioceno; corresponden principalmente a los del tipo de pradera. Su uso es primordialmente ganadero y en menor proporción agrícola y forestal.

En el municipio de Gabriel Zamora se localizan 3 minas en la parte sur de las cuales se explota el cobre, uranio y Fierro, la primera mina ubicada en el cerro Mina verde llamada con el mismo nombre en el ejido del Huaco, la segunda se localiza en el cerro La laguna y la tercera se localiza entre los cerros Las Marías, EL Ciruelo y Ciricicuaro.

CAPÍTULO 1

DISEÑO ESTRUCTURAL

En este capítulo se exponen los conceptos fundamentales del diseño estructural, así como las características con la que debe cumplir una estructura para que satisfaga la función para la cual fue diseñada.

1.1 Diseño estructural.

El diseño estructural es el procedimiento encargado de dimensionar los elementos que absorben las solicitaciones que se presentan durante las distintas etapas de vida útil de una construcción, esta parte es un área de la ingeniería civil que es de vital importancia durante el proceso de edificación.

“El diseño estructural es en donde se encuentran definidas todas las características con las que debe contar la construcción para que pueda cumplir adecuadamente la función para la cual está destinada a desempeñar. La construcción no debe presentar fallas o presentar un mal comportamiento por no poder soportar las cargas que sobre ella se imponen”. (Meli Piralla; 2004:15).

1.2 Proceso del diseño estructural.

Según Gabriel Gallo y colaboradores (2005), sugiere una serie de aspectos en los cuales sintetiza los pasos a seguir en un proceso de diseño estructural, los cuales se pueden observar a continuación:

1. **Estructuración:** se define como la fase del diseño en donde se escogen los materiales que conformaran la estructura para así saber el peso propio de la misma y sus propiedades mecánicas. En esta etapa es necesario que el proyectista cuente con cierta experiencia y conocimientos sobre la teoría estructural, puesto que es indispensable realizar el predimensionamiento de los elementos que conformaran a la estructura.
2. **Análisis:** se tendrá que establecer la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones por la cuales se encontrará sometida y, para que esta etapa se pueda llevar a cabo es necesario el desarrollo de las siguientes acciones:
 - a) **Modelación:** modelar la estructura en esta etapa es donde se idealiza la estructura con base a un modelo teórico fácil de analizar mediante los procedimientos y métodos de análisis estructural. Por ello, se necesita tener las propiedades de los materiales y características geométricas de las secciones.
 - b) **Determinación de las acciones de diseño:** tal y como su nombre lo dice, en esta etapa del análisis se determinan las acciones que obrarán en la estructura y, por eso, es necesario conocer los sistemas constructivos.

La ubicación de la estructura además será necesario revisar los códigos y reglamentos existentes.

- c) Obtención de los elementos mecánicos de diseño: se llevan a cabo los procedimientos y métodos de cálculo para obtener las fuerzas internas o elementos mecánicos, como son las fuerzas axiales, los cortantes, momentos flexionantes y de torsión, etc., a los que se encontraran sometidos los diferentes componentes de la estructura, por ejemplo: muros, vigas, columnas, etc.

3. Dimensionamiento: es el proceso donde se obtienen las dimensiones correspondientes al detallar los elementos estructurales de la estructura, además de revisar si cumple con los requisitos de seguridad establecidos. Los resultados obtenidos son vaciados a planos contractivos, estableciendo en ellos las especificaciones correspondientes. Finalizado el proyecto, el siguiente paso es la construcción del mismo, procurando que se pueda lograr la calidad de obra esperada. Para ello, es necesario tener un responsable de la obra.

1.3 Consideraciones de diseño.

La confiabilidad de las estructuras se considera una de las partes fundamentales para la realización de un buen diseño, ya que esto depende de que al momento de habitar la vivienda las personas se sientan seguras de habitarla.

Gabriel Gallo y colaboradores (2005) exponen que, el objetivo del diseño estructural es dar soluciones las cuales, por medio del aprovechamiento óptimo de las propiedades de los materiales y de las técnicas de construcción, lleven a un buen comportamiento en condiciones normales de funcionamiento, con una confiabilidad adecuada contra una falla.

Con base en lo anterior, el objeto de tener una estructura segura, depende de conocer la manera más adecuada de lidiar con los problemas de seguridad, para ello es esencial realizar un buen planteamiento del diseño, que sea capaz de permitir la identificación precisa de donde se tiene que hacer uso de los factores de seguridad y cuál será el resultado de la utilización de los factores de seguridad.

De acuerdo con lo dicho por Torroja (S/F), citado por Meli Piralla (2004), las obras civiles no se construyen sólo para resistir, sino que son construidas para que la estructura mantenga su forma y condiciones por un largo periodo de tiempo. Por lo que la resistencia se considera como una condición primordial, sin embargo, no es su finalidad primaria.

Según Meli Piralla (2004), la estructura debe soportar las cargas para la que fue diseñada además de soportar acciones externas que como respuesta a dichas acciones se pueden presentar deformaciones, desplazamientos y en algunas ocasiones daños.

Gabriel Gallo y colaboradores (2005) dice que, la respuesta de una estructura se encuentra representada por un conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones externas, tal como se muestra en la imagen 2.1.

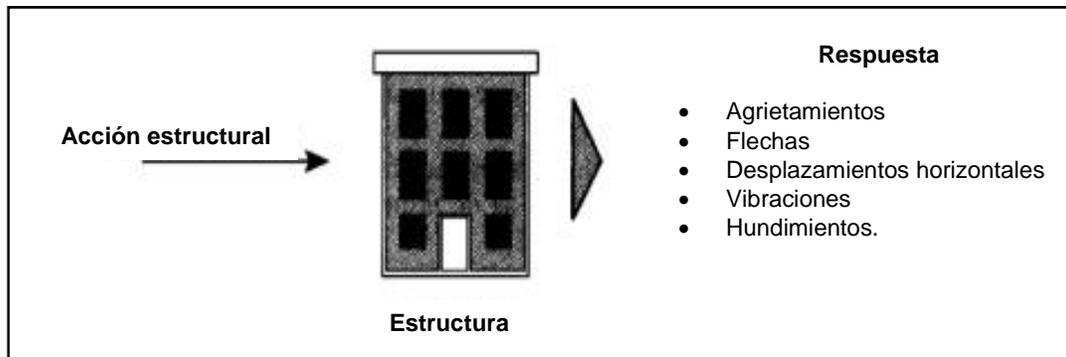


Imagen 1.1. Acción-respuesta de la estructura.

Fuente: Gabriel Gallo y colaboradores; 2005: 11.

“La respuesta de la estructura está representada por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas”. (Meli Piralla; 2004:56)

Con base en lo anterior, la respuesta de la estructura tiene que estar dentro de los límites que no afecten su adecuado funcionamiento, ni su estabilidad esto para que la construcción pueda cumplir con las funciones para las que está diseñada. En los códigos de diseño están definidos los límites admisibles de la respuesta estructural, los cuales dependerán del tipo de construcción y su destino.

Según Meli Piralla (2004), el estado límite se refiere a cuando una estructura deja de cumplir las funciones para las que ha sido proyectada; los estados límites se clasifican en dos tipos que son:

1.- El estado límite de falla: se presenta cuando una estructura llega a sufrir una falla total (colapso) o parcialmente, o presenta daños irreversibles los cuales perjudican su capacidad para soportar nuevas acciones. Las fuerzas internas (flexión, torsión, carga axial), inestabilidad, el pandeo local de una sección, falla por

fatiga, etc. establecen un estado límite de falla. Es importante que el proyectista procure que no se presenten estados límites de falla en la estructura porque pueden provocar un daño económico y social.

2.- El estado límite de servicio: se presenta como agrietamientos en columnas y muros, deflexiones en vigas o columnas y vibraciones excesivas, pero todo sin poner en riesgo el correcto funcionamiento de la estructura y garantizar que las personas ubicadas en la estructura, no estén nerviosas por las vibraciones causadas.

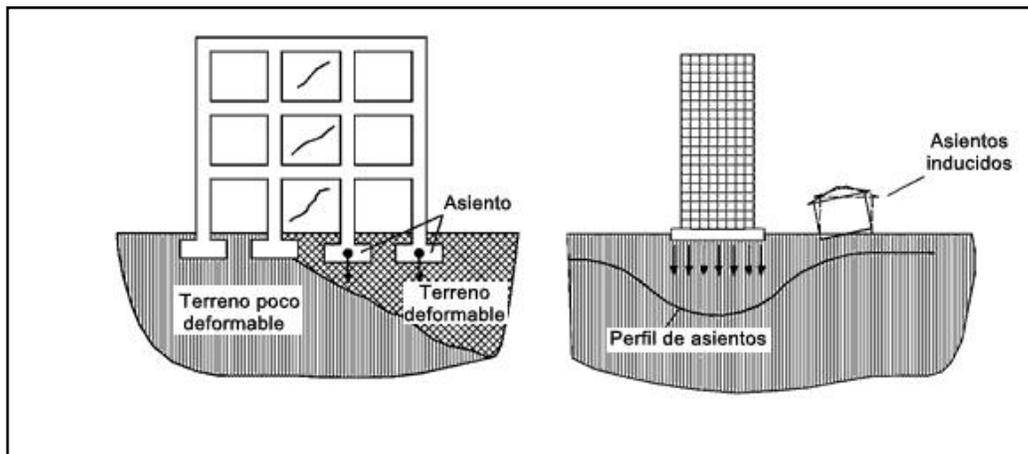


Imagen 1.2. Estado límite de servicio.

Fuente: <http://www.arqhys.com>; 2017.

Dicho lo anterior, se da una definición del objetivo del diseño estructural: “proporcionar una seguridad adecuada ante la aparición de estados límite de falla para las acciones más desfavorables que puedan presentarse durante la vida útil de la construcción y procurar que en las condiciones normales de operación no se sobrepasen los estados límites de servicio”. (Meli Piralla; 2004:57)

De acuerdo con Meli Piralla (2004), el proyectista debe cumplir ambas condiciones de servicio y no sólo enfocarse con los requisitos de seguridad, ya que se pueden presentar situaciones en las que la construcción sea adecuada en cuanto a su seguridad, pero tratándose de la estructura se encuentre inservible.

Para poder verificar si se llegará a rebasar algún estado de límite, se necesitan procedimientos de análisis estructural en donde se relacionen las acciones con la respuesta y en donde se pueden obtener cómo van a ir distribuidas las fuerzas internas, deflexiones y las deformaciones que le ocurren a la estructura, además se debe contar con criterios que permitan determinar qué niveles de respuesta constituyen a un estado límite. Si no se contara con los procedimientos de análisis estructural se puede recurrir a la ayuda de prototipos para establecer la relación entre ambas.

1.4 Criterios de diseño.

Toda edificación debe tener un sistema estructural que admita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las diferentes acciones de diseño, para que dichas fuerzas puedan ser transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación, esto de acuerdo con Luis Arnal Simón y colaboradores (2011).

Según Meli Piralla (2004), se requiere establecer un diseño que permita identificar contra qué se pretende tener seguridad, y que efectos se pueden cubrir. El planteamiento de estado límite es el indicado ya que permite hacer una comparativa

entre la resistencia y la acción que le corresponde. La manera lógica de operar sería a través de un solo factor de seguridad.

El diseño por estados límite se da como un ejemplo claro de lo antes mencionado, ya que permite una comparación de la resistencia en cada caso de su estado límite y su acción correspondiente. Su funcionamiento ideal sería tener un solo factor, con el cual se estimaría lo mejor posible la resistencia, esto por medio de variables.

En conformidad con Meli Piralla (2004), existen diferentes formas de solucionar el problema de la revisión de la seguridad; como el criterio de diseño por resistencia última en el cual, la revisión es el comprobar que se cumpla la desigualdad que se muestra a continuación:

$$F_R R_d > \Sigma F_c S_d$$

La resistencia R_d calculada a partir de los esfuerzos resistentes de los materiales, se multiplica por un factor de reducción F_R que generalmente se trata de un valor conservador. La desigualdad del otro lado, las acciones de diseño S_d obtenida del análisis de la estructura, multiplicada por un factor de carga F_c que toma en cuenta la probabilidad de que el efecto de las acciones de incremento cuando estas se combinan con las cargas consideradas en el análisis.

1.5 Reglamentos de diseño.

Para que una estructura se considere segura es necesario cumplir con ciertos criterios de diseño lo cuales se especifican en los diferentes reglamentos es por ello que es de suma importancia conocerlos.

Los reglamentos que se deben seguir para el diseño de estructuras son documentos legales que, de acuerdo con Meli Piralla (2004), tienen como objetivo proteger a la sociedad al momento que la estructura se colapse o tenga un mal funcionamiento estructural.

Los reglamentos usualmente son creados por comités lo cuales estar conformados por personas las cuales se especialidad en el área y revisados por personas e instituciones las cuales estén interesadas. Por lo tanto, se dice que un reglamento manifiesta, los puntos de vista y el conocimiento de los redactores. Los reglamentos pueden dividirse en dos grupos los cuales son: reglamentos funcionales y reglamentos prescriptivos.

Meli Piralla (2004) dice que, los reglamentos de la actualidad que contengan carácter legal, cuentan con sanciones para todos aquellos que no cumplan con lo dictado, aunque, se trata de sanciones no tan drásticas.

De lo expuesto por el mismo autor, se considera que independientemente de la clase del reglamento, los redactores tienen la responsabilidad de establecer un nivel de seguridad para los distintos tipos de estructuras. Se cuenta con una técnica la cual consiste en elegir casos con suficiente experiencia y evidencia de que los procedimientos que se siguen son los adecuados, dichos casos se toman como un

patrón para determinar los parámetros apropiados para otras situaciones en las que no se cuente una experiencia previa. A esta manera de proceder se le llama calibración.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), existen un sinnúmero de reglamentos para el diseño estructural, la mayor parte de ellos se refieren al diseño de estructuras espaciales como puentes, tuberías, etc. O son referentes a algún material como el concreto, acero, madera o mampostería. Las normas más conocidas son:

- Código ACI: para estructuras de concreto.
- El AISC: para estructuras de acero.
- AASHTO: para el diseño estructural de puentes.
- UBC: utilizado en proyectos de edificios en general.

En México el reglamento más actualizado y que sirve como referencia para otros estados, es el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF), sin embargo, se cuenta con un documento que tiene un alcance mayor, aunque consultarlo para realizar alguna construcción no es un requisito obligatorio, se trata del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad el cual abarca el diseño de obras industriales y chimeneas, tanques, torres y cimentaciones. También especifica acciones de diseño para las diferentes regiones de la República Mexicana.

1.6 Acciones en las estructuras.

Las acciones que actúan sobre las estructuras son parámetros a considerar en su diseño ya que dichas acciones indican directamente en la durabilidad, el servicio, la estabilidad y la resistencia.

En conformidad con Gabriel Gallo y colaboradores (2005), en el siglo XIX, la mayoría de las construcciones se construían de forma masiva, debido a la inexistencia del análisis estructural y fundamentalmente resistían su propio peso.

En la actualidad es de suma importancia definir las acciones, clasificarlas, analizar sus efectos mediante modelos, además de saber cuál es su magnitud y como se combinan para así, poder tomar en cuenta el efecto en su conjunto.

1.6.1 Clasificación de acciones.

En el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004), las acciones se clasifican como:

- 1) Permanentes:** estas acciones son las que obran en forma continua sobre la estructura y la intensidad puede considerarse casi nula respecto al tiempo. Dentro de esta clasificación entran las cargas muertas, el empuje estático de líquidos y tierras, deformaciones y desplazamiento.

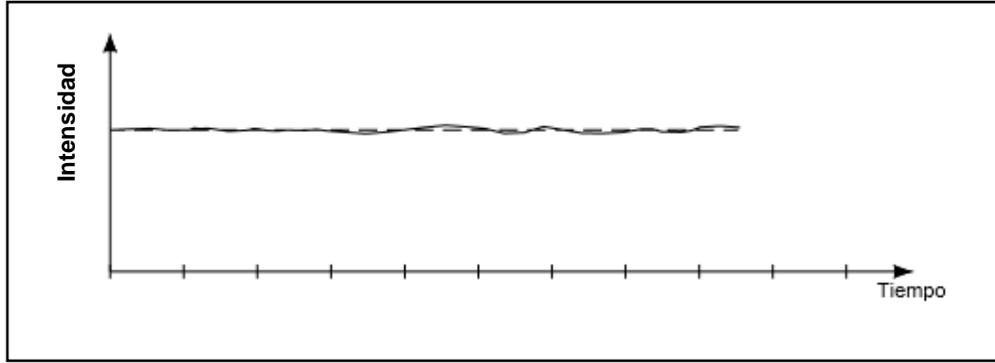


Imagen 1.3. Variación con el tiempo de acción permanente.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 78.

2) Variables: se trata de las acciones que obran sobre la construcción con una intensidad variable con el tiempo, y pueden alcanzar valores significativos durante tiempos prolongados. Dentro de esta clasificación se incluyen las cargas vivas, cambios de temperatura y volumétricos.

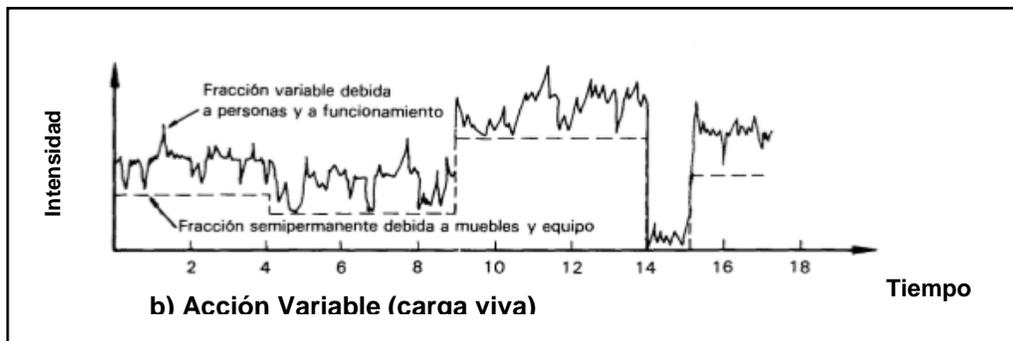


Imagen 1.4. Variación con el tiempo de acción variable.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 78.

3) Accidentales: son todas aquellas acciones que no se deben al funcionamiento normal de la construcción y pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría: las acciones sísmicas, los efectos del viento, cargas de granizo, los efectos de explosiones e incendios.

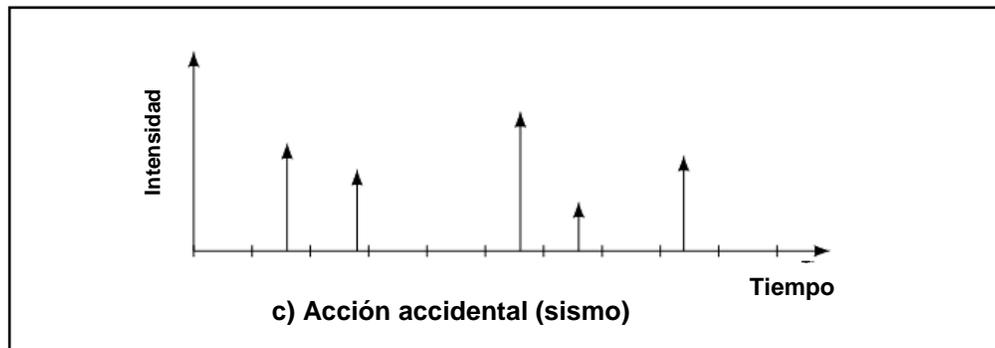


Imagen 1.5. Variación con el tiempo de acción accidental.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 78.

1.7 Clasificación de cargas.

Según McCormac (1983), para poder determinar las cargas que se le pueden aplicar a la estructura es uno de los problemas más complejos y de mayor importancia a los que se enfrenta el ingeniero estructurista, ya que no se pueden despreciar ni olvidar alguna posible carga puesto que podría provocar demasiados problemas en el funcionamiento de la estructura.

Las cargas se clasifican como:

1.7.1 Cargas vivas.

Las cargas vivas son las que no se mantienen en una misma magnitud ni posición, esto según McCormac (1983). Estas cargas se pueden dividir en dos:

- Cargas móviles: todas aquellas que se mueven por sí solas, como personas, autos, etc.
- Cargas movibles: se refiere a los muebles, materiales almacenados, etc.

Meli Piralla (2004) dice que, las cargas vivas se deben a la operación y al uso que se le dé a la construcción. Por lo tanto, dichas cargas son todo aquello que no cuentan con una posición constante y definitiva dentro de la misma, por ejemplo: el peso de los muebles, mercancías, equipos y personas. La carga viva se considera la principal acción variables que se debe tomar en cuenta para el diseño.

Los reglamentos de construcciones tienden a incluir tablas donde se especifican las cargas vivas para los distintos usos de las zonas de un edificio. En la tabla 1.1. Se muestra una comparación de cargas vivas especificadas por códigos de distintos países.

Destino del piso	MÉXICO RCDF	U.S.A. ANSI-81	URSS SNIP-74	JAPÓN AIJ	ALEMANIA DIN-61	G. BRETAÑA GP3-67
Habitación en casas y departamentos	190	195	150	180	150	153
Hoteles	190	195	150	180	150	204
Hospitales	190	195	200	180		204
Oficinas	250	244	200	300	200	255
Escaleras	350	488	300			300 a 500
Lugares de reunión con asientos fijos	350	293	400	300	500	408
Lugares de reunión sin asientos fijos	450	488	500	360	500	510
Balcones y terrazas al exterior	300	488	400	300	500	153
Garajes para automoviles	250	244		550	350	255
Comercios	>350	488(365)	400	300	500	408

Todas las cargas en Kg/m²

Tabla 1.1. Cargas vivas para edificios según diversos reglamentos.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 137.

Como se puede observar en la tabla anterior los valores que se muestran son muy similares, sin embargo, se aprecian algunas discrepancias que evidencian que las cargas no se fijaron con el mismo criterio, debido a que se toman diferentes criterios para diseñar la estructura dependiendo en el país donde se vaya a construir, puesto que los reglamentos cambian al igual que las acciones a las que estará expuesta la estructura.

1.7.2 Cargas muertas.

De acuerdo con McCormac (1983), las cargas muertas son las que permanecen en una posición y magnitud constante, dichas cargas están constituidas por el peso propio de la estructura, en el caso de una vivienda estarían incluidas las cargas del peso propio de la estructura, muros, entrepisos, etc.

Con base a Meli Piralla (2004), se conoce a la carga muerta al conjunto de acciones que se producen por el peso propio de la construcción; incluyendo el peso de la estructura y el de los elementos no estructurales, como son los muros divisorios, los revestimientos de pisos y fachadas, las instalaciones y todos los elementos que permanezcan en una posición constante en la construcción.

Para calcular las cargas muertas McCormac (1983) dice que, se pueden obtener a partir de tablas y especificaciones, y en caso que se requiera una mayor exactitud pueden calcularse de manera muy sencilla determinando el peso de cada material.

Según Meli Piralla (2004), el cálculo de las cargas muertas es relativamente sencillo, puesto que sólo es necesario la determinación de los volúmenes de las diferentes componentes de la construcción y su multiplicación por los pesos volumétricos de los materiales. La mayoría de las cargas muertas se representan a través de cargas uniformemente distribuidas sobre las diferentes áreas de la construcción, sin embargo, se han presentado algunos casos de cargas lineales (muros divisorios) y concentradas (equipos fijos).

En la siguiente tabla se observan algunos valores que se pueden tomar como datos promedio de pesos de ladrillos y mosaicos:

MATERIAL	PESO (KG/CM³)
Ladrillo rojo macizo prensado	1800
Ladrillo rojo hueco prensado	900
Ladrillo rojo macizo hecho a mano	1500
Ladrillo rojo hueco hecho a mano	1200
Ladrillo ligero de cemento, macizo	900
Ladrillo ligero de cemento, hueco	800
Azulejo o loseta	1800
Mosaico	2000
Concreto	
Concreto simple	2300
Concreto reforzado	2500
Madera	
Pino (ocote)	600
Oyamel	600
Encino	950
Hierro y acero	
Hierro laminado y acero	7600
Hierro fundido (vaciados)	7200
Vidrio estructural	
Tabiques de vidrio para muros prismáticos para tragaluces	1800
	2000
Tierras, arenas y gravas	
Tierra seca y suelta	1200
Tierra húmeda y suelta	1300
Tierra seca apretada	1400
Tierra húmeda apretada	1600
Arena y grava mojada	1700

Tabla 1.2. Pesos de ladrillos y mosaicos.

Fuente: Crespo Villalaz; 2004: 263.

1.7.3 Cargas accidentales.

Las cargas accidentales según McCormac (1983), son las que sólo ocurren por un tiempo determinado y en grandes magnitudes, como son la lluvia, nieve o sismos. Dichas cargas tienen un papel de suma importancia en la estructura, puesto que son las responsables de una gran cantidad de accidentes por no ser consideradas a la hora del diseño estructural.

De las acciones accidentales, la más importante para el diseño de una casa habitación, es el sismo, puesto que los efectos del sismo en una estructura, a diferencia de las cargas vivas y muertas, no se pueden estudiar como una acción permanente o semi-permanente. La imagen 1.6. se puede apreciar la acción de un sismo:

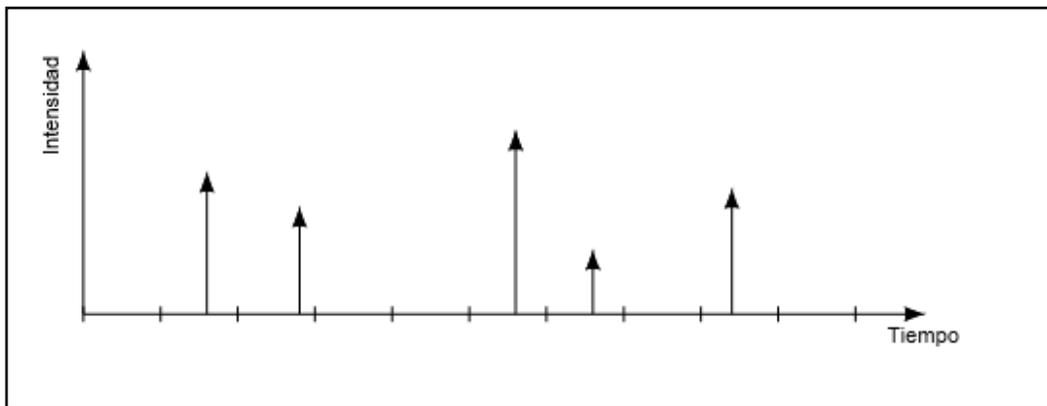


Imagen 1.6. Acción del sismo.

Fuente: [http://www.udc.es;\(2017\).](http://www.udc.es;(2017).)

1.7.3.1 Sismos.

Un sismo es la vibración de la tierra generada por una liberación inmediata y espontánea de energía. Lo más usual es que esta energía se produzca por el movimiento o rompimiento de la corteza terrestre. La energía liberada se propaga en todas direcciones desde su origen por medio de las ondas sísmicas; al lugar de origen del sismo se le conoce como foco o hipocentro (ver imagen 1.7), y al lugar en la superficie que se encuentra directamente encima del foco se le conoce como epicentro, de acuerdo con la página electrónica <http://sismos.gob.mx> (2017).

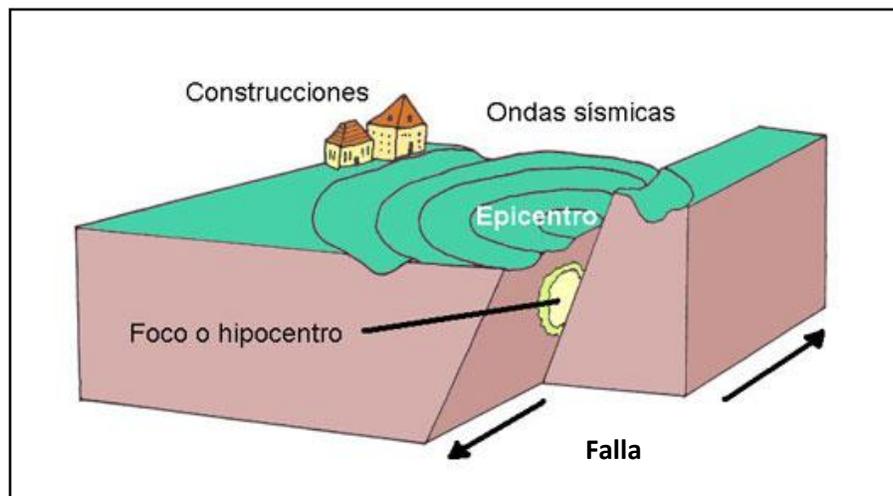


Imagen 1.7. Generación de un sismo.

Fuente: <http://sismos.gob.mx>; (2017).

Con base en la página de internet www.gob.mx (2017), los Sismos es un término usual para referirse a los movimientos de la corteza terrestre. Los sismos se

originan en el interior de la tierra y se propaga por ella en todas direcciones en forma de ondas.

Las ondas que transmiten los movimientos del sismo tienen un periodo, es decir, una duración y una amplitud. Los temblores provocan ondas longitudinales (p), ondas transversales (s) y ondas superficiales como las de un mar agitado.

Propagación de ondas sísmicas: al ocurrir un evento sísmico se libera una gran cantidad de energía la cual se propaga a través de la corteza terrestre en forma de ondas. Estas ondas, de acuerdo a la manera en que viajan y a sus características se clasifican principalmente en dos grupos: ondas de cuerpo y ondas superficiales.

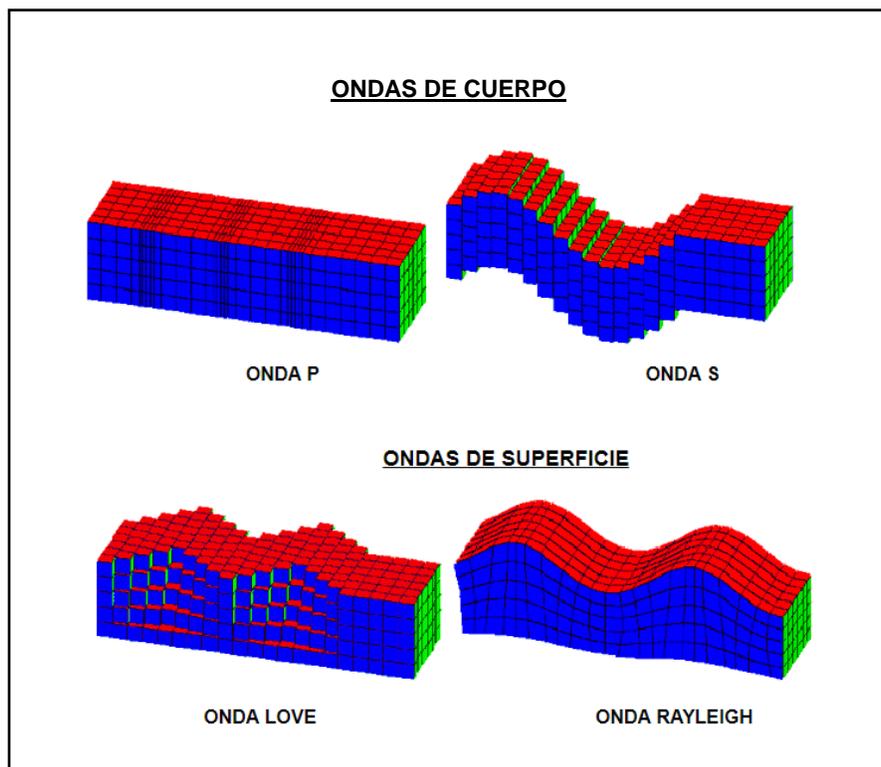


Imagen 1.7. Tipos de ondas sísmicas.

Fuente: <http://www.udc.es;>(2017).

1.7.3.2 Parámetros de los sismos.

Los parámetros más importantes con los que generalmente se definen a los sismos, de acuerdo con la página de internet [www.unidiversidad.com.ar](http://www.unidiversidad.com.ar;); (2017), son:

- **La aceleración.-** es un cambio de velocidad, cuando se multiplica por la masa de una fuerza de inercia que debe resistir el edificio. Comúnmente la aceleración se mide en términos de gravedad “g” que es la aceleración de un cuerpo que cae libremente debido a la gravedad de la Tierra de aproximadamente 9.8 m/s^2 .
- **La velocidad.-** se mide en pulgadas o centímetros sobre segundos y se refiere al cambio de movimiento del suelo.
- **Desplazamientos.-** se mide en pulgadas o centímetros, se refiere a la distancia de una partícula que se mueve de su posición de reposo.

1.7.3.3 Sismicidad en México.

México es un país sísmico aunque también tiene zonas en la que hace muchos años que no tiembla. Con base en los boletines de información sísmica que publica el Instituto de Ingeniería de la UNAM, muestran la constante sismicidad de la república, aunque por fortuna la mayoría de los sismos son de muy poca intensidad generalmente de registran de diez a veinte diarios.

En México se distinguen cuatro tipos de sismos de acuerdo al tipo de falla que los origina:

- 1. Sismos de subducción:** se generan en la zona de subducción en la frontera entre las Placas de Cocos y de Rivera con la Placa de Norteamericana. Esta zona se localiza en la costa de Océano Pacífico y su profundidad es menor de 35km. Son los sismos más frecuentes y de mayor magnitud en México.
- 2. Sismos de falla miento normal:** se presenta en la falla de cocos que queda bajo la placa norteamericana a profundidades mayores de 35km se deben a fallas normales o tensión ocurren por efecto de las corrientes de convección alrededor de la placa Subducida. Estos sismos aunque son menos frecuentes y de mayor magnitud que los de subducción se vuelven altamente peligrosos debido a la cercanía de las poblaciones.
- 3. Sismos de traslación:** este tipo de sismos se presentan en la península de Baja California como consecuencia de la falla de traslación entre la placa del Pacífico y la de Norteamérica (Falla de San Andrés).
- 4. Sismos locales:** Su origen está en las fallas geológicas. El Valle de México, y en particular la ciudad, está atravesado por fallas y algunas, al estar activas, pueden producir movimientos sísmicos de poca intensidad.

1.7.3.4 Diseño por sismo.

En conformidad con el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (2004), las estructuras deben calcularse para resistir un sismo de intensidad aproximadamente igual o mayor a 8° en la escala de Richter. Y se recomienda considerar los siguientes artículos al momento de realizar el diseño por sismo:

- **Artículo 164:** consultar las Normas en donde se establecen las bases y requisitos generales mínimos de diseño para que las estructuras cuenten con seguridad adecuada ante los efectos de los sismos.
- **Artículo 165:** analizar las estructuras bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno. En el caso de estructuras que no cumplan con las condiciones de regularidad, deberán analizarse mediante modelos tridimensionales, tal como se especifica en las Normas.

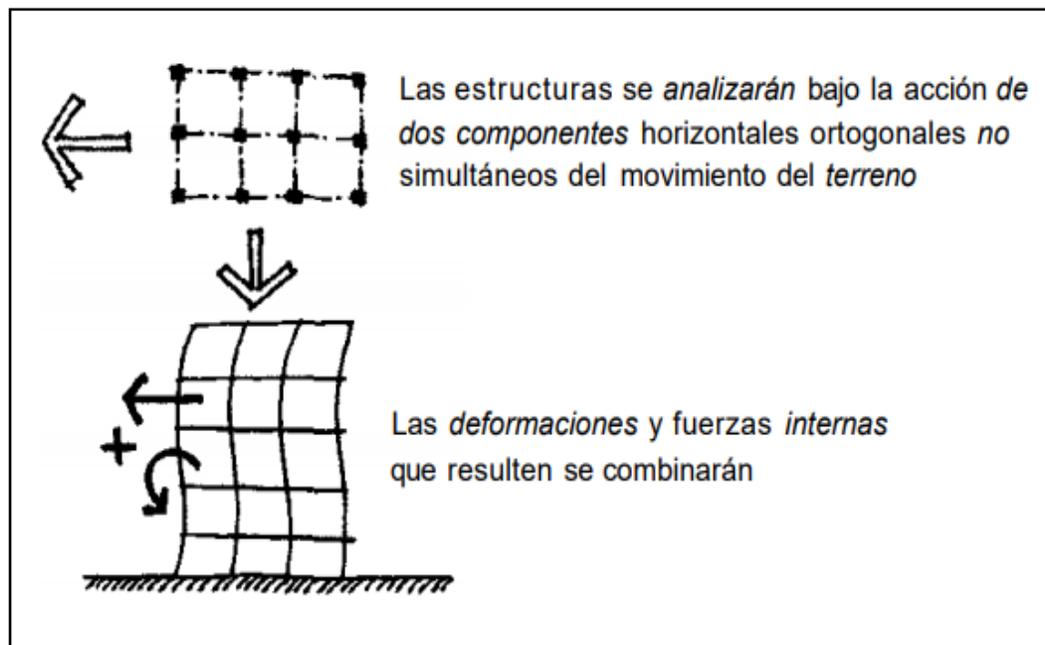


Imagen 1.8. Análisis de la estructura bajo dos componentes horizontales ortogonales.

Fuente: Reglamento de Construcción del Distrito Federal; 2004:139.

- **Artículo 166:** todos los edificios deben contar con una separación entre sus linderos con los predios vecinos o entre cuerpos en el mismo predio. Además

los espacios entre edificaciones colindantes y entre cuerpos del propio edificio tienen que quedar libres de todo material, utilizando tapajuntas entre ellos.

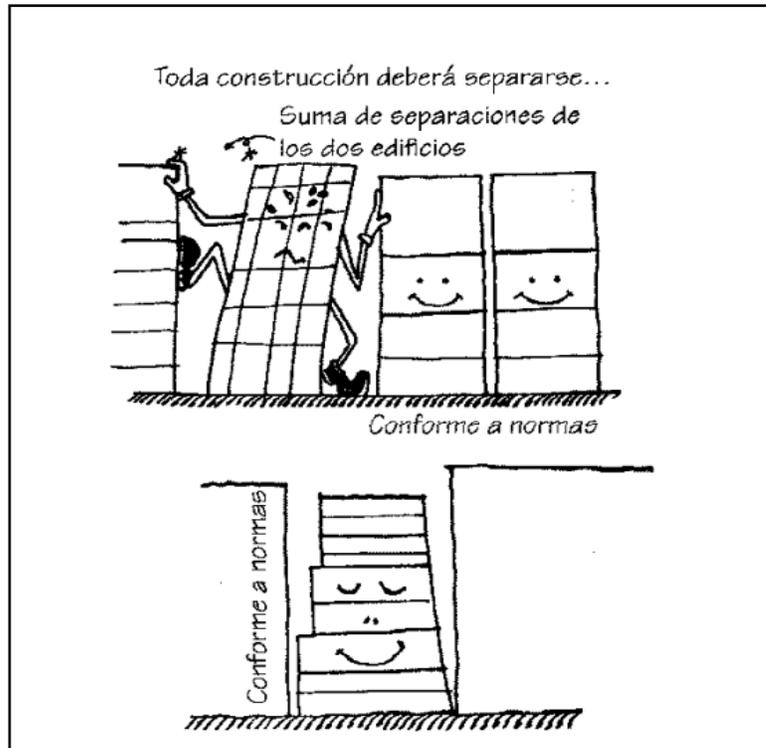


Imagen 1.9. Separación entre dos edificios conforme a las Normas.

Fuente: Reglamento de Construcción del Distrito Federal; 2004:139.

Además de las consideraciones ya antes mencionadas, es necesario tomar en cuenta las propiedades inelásticas de los materiales y elementos estructurales, y en particular la ductilidad, ya que juegan un papel de suma importancia en diseño sísmico por ello es ineludible hacer hincapié en lo siguiente:

- 1) Identificar las acciones de diseño, en los reglamentos se especifica la intensidad sísmica que debe utilizarse en el diseño.
- 2) Elegir una estructura adecuada, los efectos sísmicos dependen de las propiedades de la estructura misma y de los elementos considerados como no estructurales, mediante una estructuración adecuada se puede lograr que sean menos desfavorables las acciones que inducen al sismo de una estructura.
- 3) El cálculo de la respuesta estructural, el cual se obtiene mediante métodos de análisis sísmicos.
- 4) El dimensionamiento y detallado de la estructura, como los criterios de diseño permiten que la estructura entre en etapas inelásticas de comportamiento ante el sismo de diseño, es importante evitar que ocurran fallas frágiles locales y en caso de ocurrir un sismo de excepcional intensidad, se logre una disipación uniforme de la energía del sismo mediante sus elementos estructurales.

1.8 Hundimientos diferenciales.

Según Meli Piralla (2004), en una estructura las fuerzas internas son provocadas por hundimientos, esto sólo si dicha estructura es hiperestática y si sus apoyos sufren movimientos diferentes (hundimientos diferenciales) tal como se ve en la imagen 1.10.

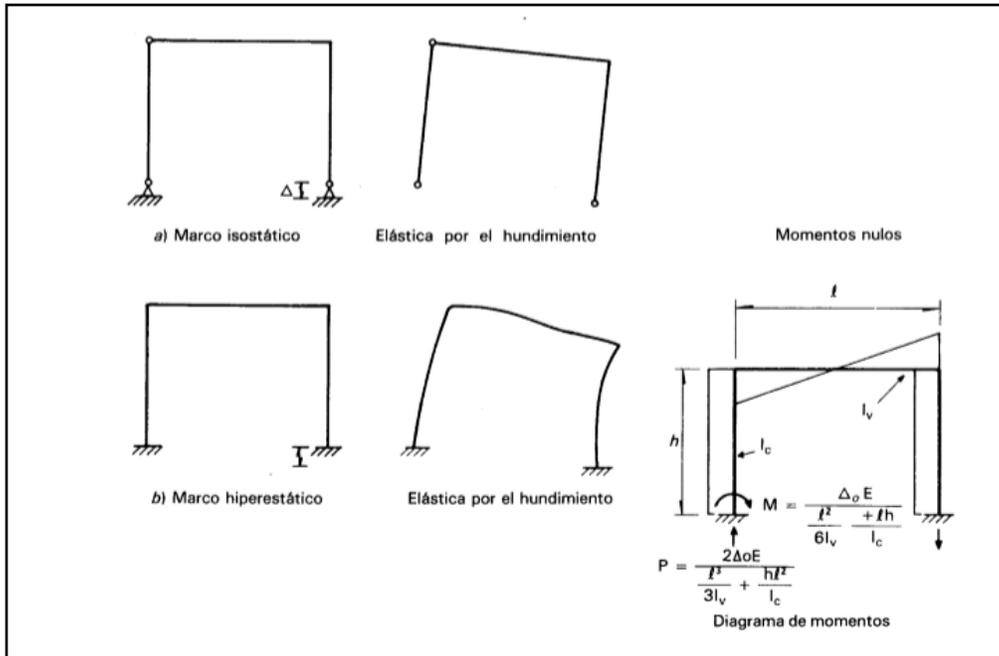


Imagen 1.10. Efectos de hundimientos diferenciales en un marco isostático y en uno hiperestático.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 185.

“Los hundimientos diferenciales excesivos deben evitarse aun cuando sean uniformes, ya que, si bien no afectan la estructura, interfieren con el correcto funcionamiento de la construcción” (Meli Piralla; 2004: 185-186).

La dimensión de los hundimientos de los apoyos de una estructura debido a las cargas que actúan en la construcción, depende primordialmente de las características del subsuelo y de las rigideces relativas entre estructura, cimentación y suelo. Para ello en su cálculo debe considerarse la teoría de las estructuras y de mecánica de suelos.

Generalmente la estructura no se revisa para los efectos de los hundimientos diferenciales, sino que se diseña una cimentación adecuada para que los

hundimientos se dentro de límites tales que sus efectos puedan ser disipados por deformaciones inelásticas de la estructura, esto de acuerdo con Meli Piralla (2004).

De lo expuesto por el mismo autor, se considera necesario realizar un análisis estructural a la construcción para conocer los efectos que pueden provocar los hundimientos que se exceden de los límites, y cuando se trate de una construcción sensible a movimientos diferenciales. Por lo tanto, los hundimientos diferenciales se deben considerar como efectos de acciones permanentes. Esto quiere decir que, se deben de tomar en cuenta en las combinaciones de acciones comunes y en las excepcionales.

1.9 Materiales estructurales para vivienda.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), es de suma importancia saber las características estructurales de los materiales utilizados para construir, para conocer si serán capaces de aguantar las cargas que actuarán sobre ellos. Los materiales utilizados son muy variados pero lo más usados son: acero, concreto, madera, materiales pétreos, etc. Dichos materias además de soportar las cargas tienen que cumplir con la función de proporcionar resistencia y dar estabilidad a la construcción.

La resistencia es la propiedad más importante del material y se puede definir como el esfuerzo máximo que se alcanza en el material durante el proceso del ensaye, dicho valor no es aprovechable, ya que se alcanza para deformaciones relativamente grandes para las cuales las estructuras tendrían problemas de inestabilidad. En materiales como el acero, las resistencias a tensión y compresión

son muy similares, mientras que en otros se presentan marcadas diferencias entre sus valores.

1.9.1 Propiedades estructurales.

Según Askeland (2004), las propiedades estructurales de un material están definidas por leyes constitutivas, esto quiere decir que, dependen de su composición y primordialmente de su microestructura también, se ven afectados por la oxidación, corrosión, temperatura, variación de los ciclos de aplicación de esfuerzos entre otros distintos factores.

En conformidad con Meli Piralla (2004), para que un material sea adecuado para cumplir las funciones estructurales dependen principalmente del costo y sus propiedades mecánicas. Además, el material debe cumplir funciones adicionales a las estructurales como: propiedades de impermeabilidad y durabilidad ante la intemperie, de aislamiento térmico y acústico. Por otra parte, los materiales deben proporcionarle a la estructura cualidades estéticas.

Se sabe que no existe un material estructural que sea óptimo; las propiedades estructurales de un material se determinan de una manera estricta por medio de leyes constitutivas, es decir, un conjunto de ecuaciones las cuales definen el estado de deformaciones que se generan en el material ante cada estado probable de esfuerzos, así como los estados que pertenecen a situaciones de falla. De una forma más simple se pueden representar mediante curvas esfuerzo-deformación las

propiedades de un material las cuales son obtenidas de ensayos estándar ante condiciones uniaxiales de esfuerzos que pueden ser de compresión o de tensión.

Aunque en estos ensayos se suele ignorar los efectos de la velocidad, así como la duración de la carga, los de reincidencia y variaciones de esfuerzo y los estados multiaxiales de esfuerzos. A pesar de estas restricciones, las curvas esfuerzo-deformación proveen información relevante sobre el comportamiento de un material.

Meli Piralla (2004) expone que, las propiedades estructurales primordiales que son obtenidas de curvas esfuerzo-deformación son: resistencia, rigidez y comportamiento inelástico; tal como se puede observar en la imagen 1.11;

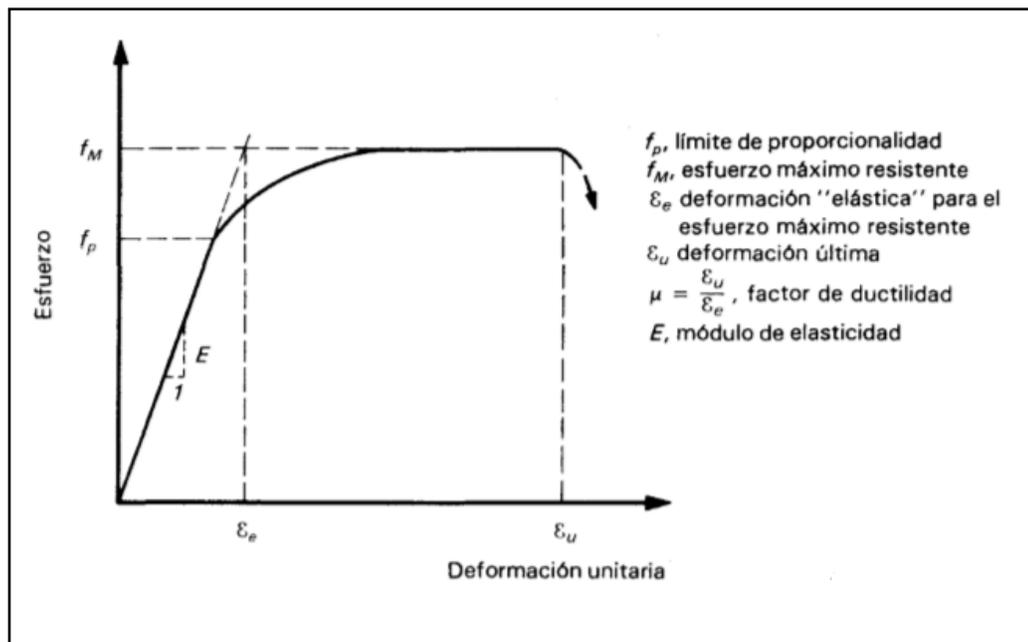


Imagen 1.11. Curva esfuerzo-deformación de un material estructural.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 267.

De lo expuesto por el mismo autor, la curva esfuerzo-deformación de todos los materiales estructurales presenta un tramo casi lineal, permitiendo definir un módulo de elasticidad, E , tal como se muestra en la pendiente del tramo en la imagen 1.11. En el acero, la madera y en la mayor parte de las mamposterías, la curva se conserva de una manera lineal hasta cerca de la carga máxima o de la fluencia; sin embargo, en el concreto la curva deja visiblemente de ser lineal comenzando los esfuerzos del orden de la mitad de la resistencia.

El módulo de resistencia resulta ser una propiedad de suma importancia en la conducta estructural, puesto que de éste depende concisamente la rigidez que se puede lograr en la construcción y que se cumplan los estados límite de servicio, cabe mencionar que el módulo de elasticidad depende de las fuerzas de atracción entre los átomos del elemento y debido a esto no puede ser alterado en un material dado, a menos que cambie de una manera precisa su composición.

“El parámetro con que se mide es generalmente el factor de ductilidad, o sea la relación entre la deformación última o de falla, para la cual se comienza a tener una reducción neta de capacidad, y la deformación de fluencia (real o convencional), o sea la deformación que corresponde al esfuerzo resistente, si el comportamiento es lineal. A la ductilidad de las estructuras se le ha dado gran importancia desde que se ha enfocado el diseño a lograr seguridad ante la falla y se ha puesto menos énfasis en lograr que, en condiciones de servicio, los esfuerzos calculados suponiendo comportamiento lineal permanezcan a niveles bajos” (Meli Piralla; 2004: 268).

1.9.2 Materiales estructurales más comunes para la construcción de una casa habitación.

A continuación se definirán los materiales estructurales más utilizados para el momento de construir una casa habitación en México.

1.9.2.1 Mampostería.

Gabriel Gallo y colaboradores (2005), define como mampostería al conjunto de elementos pétreos naturales o artificiales, unidos usualmente con mortero con el fin de crear una estructura tenaz. La mampostería es el material más empleado en la construcción de viviendas y sus usos son diversos, desde muros de tensión, hasta muros de ornato y de cargas, en construcciones de cimentación, etc.

Según Meli Piralla (2004), tratándose de la mampostería existe una gran variedad de formas y de materiales constitutivos, entre los tres más populares se encuentra: la piedra natural, el ladrillo y el bloque de cemento. En algunas ocasiones se acostumbra clasificar al concreto simple en la categoría de las mamposterías, debido a que sus características estructurales y el tipo de fabricación y empleo son semejantes.

“Las propiedades estructurales de la mampostería están sujetas en general a dispersiones elevadas debido al poco control que puede ejercerse sobre las características de los materiales constitutivos y sobre el proceso de construcción que es en general esencialmente artesanal”

La mampostería para fines estructurales se aprovecha mejor cuando se tiene en elementos masivos que se encuentran sometidos primordialmente a esfuerzos de compresión, como los muros y los arcos.

Como se puede observar en la siguiente imagen los valores de las propiedades mecánicas de la mampostería es muy extensa gracias a la gran diferencia que distinguen los componentes de cada material.

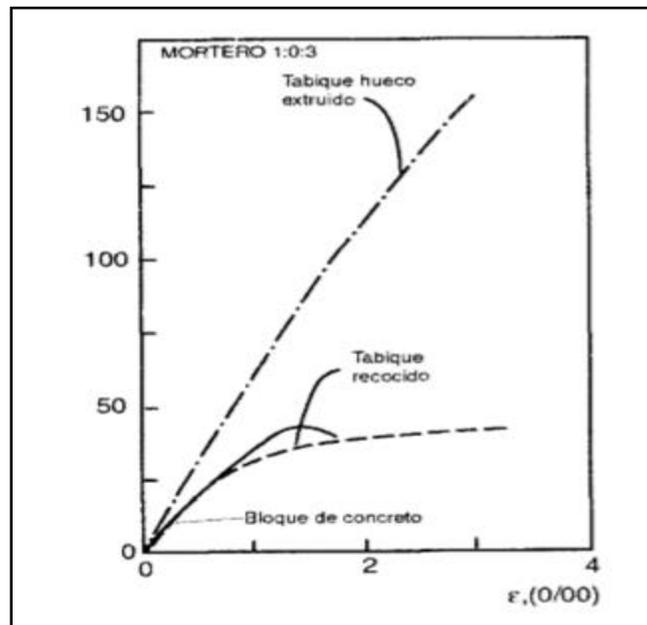


Imagen 1.12. Curva esfuerzo-deformación de mampostería.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 275.

1.9.2.2 Concreto reforzado.

Según Meli Piralla (2004), Es el material más utilizado, gracias a sus características de resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y

moldeabilidad del concreto, además de su alta resistencia en tensión y ductilidad del acero.

El concreto se encuentra sujeto a deformaciones importantes por contracción y flujo plástico que hacen que sus propiedades de rigidez se modifiquen con el tiempo, estas discrepancias deben ser consideradas en el diseño, modificando adecuadamente los resultados de los análisis elásticos y se deben tomar precauciones en la estructuración y el dimensionamiento para impedir que se manifiesten flechas excesivas o agrietamientos por cambios volumétricos.

“Por su moldeabilidad, el concreto se presta a tomar las formas más adecuadas para el funcionamiento estructural requerido y, debido a la libertad con que se puede colocar el refuerzo en diferentes cantidades y posiciones, es posible lograr que cada porción de la estructura tenga la resistencia necesaria para las fuerzas internas que se presentan. Mediante una dosificación adecuada de los ingredientes, puede proporcionarse la resistencia a compresión más conveniente para la función estructural que debe cumplirse. Aunque para las estructuras comunes resulta más económico emplear resistencias cercanas a 250 kg/cm², éstas pueden variarse con relativa facilidad entre 150 y 500 kg/cm². La curva esfuerzo-deformación se vuelve más frágil a medida que aumenta la resistencia” (Meli Piralla; 2004: 276).

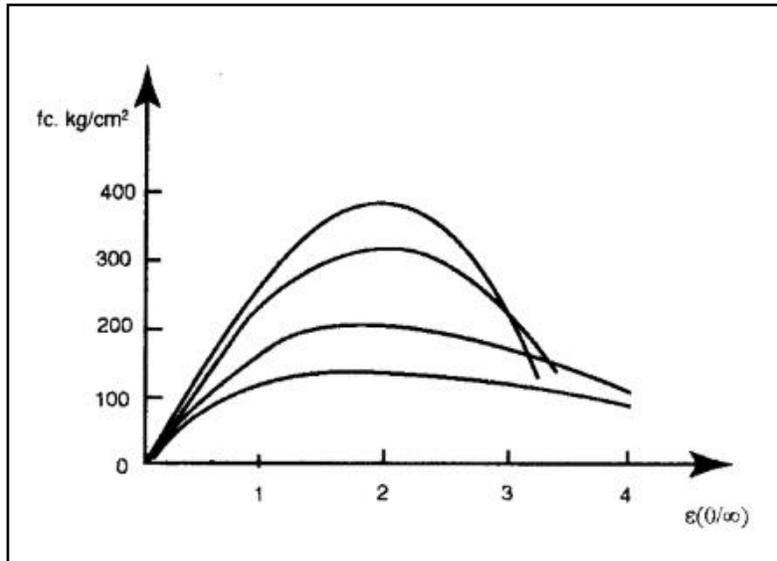


Imagen. 1.13. Relación esfuerzo-deformación de concretos de diferente resistencia.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 277.

1.9.2.3 Madera.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), la madera posee características beneficiosas para su uso como material estructural y como tal se ha utilizado desde los principios de la civilización. A diferencia de la mayor parte de los materiales estructurales, tiene resistencia a tensión superior a la de compresión, tal como se puede ver en la imagen 1.14.

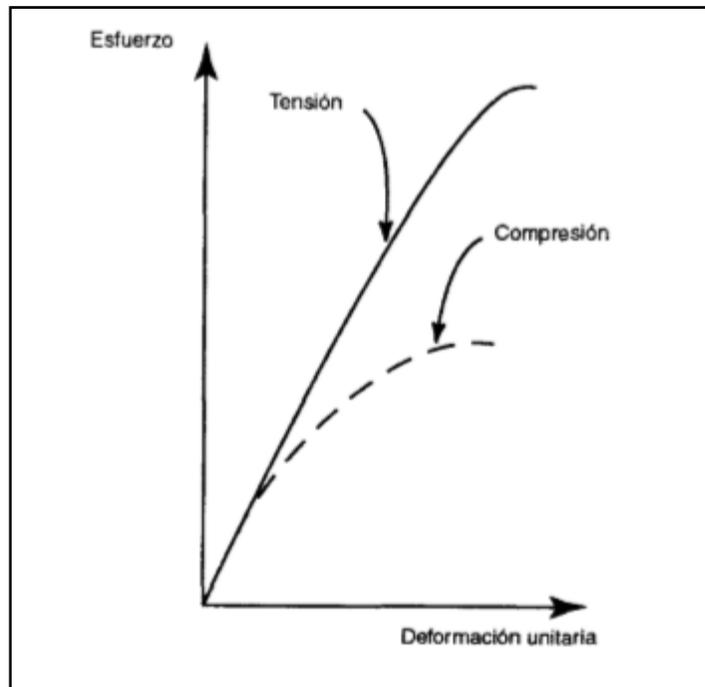


Imagen. 1.14. Relaciones típicas de esfuerzo-deformación para la madera.

Fuente: Meli Piralla: 2004: 278.

Las principales características de la madera para su función estructural son: su buena resistencia, su ligereza y su carácter de material natural renovable constituyen. Su comportamiento es respectivamente débil en tensión y aceptablemente dúctil en compresión, en que la falla se debe al pandeo progresivo de las fibras que proporcionan la resistencia.

Sus problemas como material estructural son la poca durabilidad en ambientes agresivos y la susceptibilidad al fuego, que puede reducirse sólo parcialmente con tratamientos retardantes y más efectivamente protegiéndola con recubrimientos incombustibles. Las propiedades estructurales de la madera son muy versátiles de acuerdo con la especie y según los defectos que puede presentar una pieza dada;

para su uso estructural se requiere una clasificación que permita identificar piezas con las propiedades mecánicas deseadas.

1.9.2.4 Acero.

Según Meli Piralla (2004), el acero es uno de los materiales comúnmente usados para fines estructurales, esto a sus propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad. Otra ventaja que posee el acero es que se puede fabricar en secciones con la forma más adecuada para resistir flexión, compresión u otro tipo de sollicitación. Las resistencias en compresión y tensión son exactamente iguales y pueden hacerse variar dentro de un intervalo bastante amplio modificando la composición química o mediante trabajo en frío.

Una parte fundamental es que se tiene que tomar en cuenta que a medida que se aumenta la resistencia del acero se disminuye su ductilidad y que al aumentar la resistencia no varía el módulo de elasticidad, por lo que se vuelven más críticos los problemas de pandeo local de las secciones y global de los elementos. Por ello, en las estructuras normales la resistencia de los aceros no excede de 2500 kg/cm². A continuación se muestra una imagen con las curvas esfuerzo-deformación del acero de refuerzo:

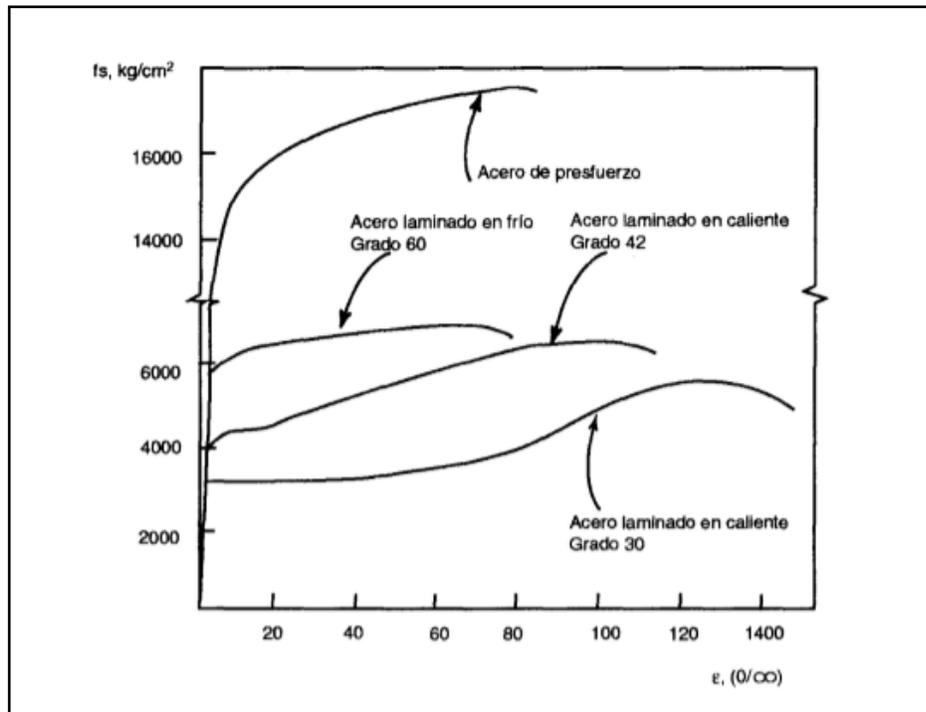


Imagen. 1.15. Curvas esfuerzo-deformación del acero de refuerzo.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 271.

Las propiedades estructurales del acero tienen generalmente poca variabilidad. Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo que hace predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos.

El acero puede ser afectado por la corrosión lo que hace que el acero necesite protección y mantenimiento en condiciones ambientales severas. Por ello debe considerarse el costo que este mantenimiento provocará.

1.10 Elementos estructurales básicos.

De acuerdo con la página electrónica <http://www.arkiplus.com> (2017), las estructuras físicas están compuestas de elementos estructurales de diferentes tipos que deben ser lo suficientemente fuertes y de una forma lógica para que soporte el peso total de la construcción y la estructura no se deforme. Los elementos estructurales dependen de la necesidad de la construcción., y se clasifican con base en su:

- Tamaño
- Geometría
- Estado de tensión
- Funcionalidad.

1.10.1 Elementos lineales.

Con base en Meli Piralla (2004), los elementos lineales son considerados los más simples en una estructura, se clasifican por tener una de sus dimensiones mucho mayor que las otras dos que lo conforman. En la imagen 1.16. Se pueden observar algunos ejemplos de elementos sujetos a tensión en la dirección de su eje longitudinal.

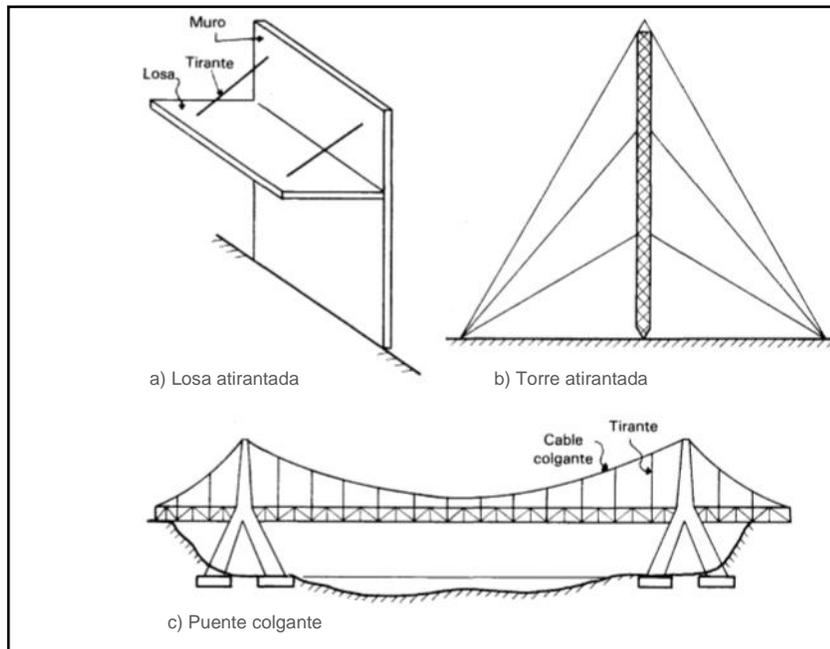


Imagen 1.16. Elementos lineales sujetos a tensión en dirección de eje longitudinal.

Fuente: Meli Piralla; 2004: 281.

Una parte importante en el diseño de un elemento en tensión es la necesidad de un anclaje. Este elemento transfiere la fuerza en él aplicada a un punto de apoyo que puede ser otra parte de la estructura o el terreno. Cuando la reacción es transferida a la construcción, puede meter en ella solicitaciones sustanciales; cuando se transfiere al terreno debe ser contrarrestada ya sea por gravedad, mediante un muerto de anclaje cuyo peso equilibre la reacción, pero un dispositivo de anclaje llega a ser complicado y con precio elevado, puesto que se le suelen incluir concentraciones de esfuerzos muy grandes. Otra propiedad de los elementos de tensión es su limitada o nula rigidez para fuerzas que actúan fuera de su eje.

El material más adecuado para trabajar en tensión es el acero, por su capacidad para resistir y por ser muy práctico a la hora de ser anclado. Cuando no se consigue que el elemento obtenga rigidez transversal, la sección que se propone es la circular, barra maciza o cable. El concreto reforzado suele utilizarse en tirantes, aunque la función del concreto es solamente de protección del refuerzo que es el que aporta la resistencia a tensión. Una ventaja del refuerzo en tirantes de concreto es disminuir el agrietamiento ante esfuerzos de tensión. Por otra parte la mampostería claramente es inadecuada por su escasa resistencia a tensión.

1.10.2 Elemento planos.

Según Meli Piralla (2004), estos elementos se caracterizan por tener una dimensión demasiado chica con respecto a las otras dos y una superficie media plana. Se identifican con el nombre de placas, aunque adquieren nombres especiales de acuerdo con la función estructural principal que ejercen. Entre las comunes se encuentran:

- Las placas que se encuentran sujetas a cargas normales a su plano y sostenidas en sus bordes o en algunos puntos son típicas de los sistemas de piso y techo. Son denominadas losas cuando están compuestas por concreto o piedra.
- Cuando la placa esta sostenida solamente en dos de sus bordes en una misma dirección, funciona como una viga ancha, puesto que transfiere la carga a los apoyos por medio de flexión en una dirección.

En la imagen 1.17. Se pueden apreciar las funciones de distintos tipos de placas:

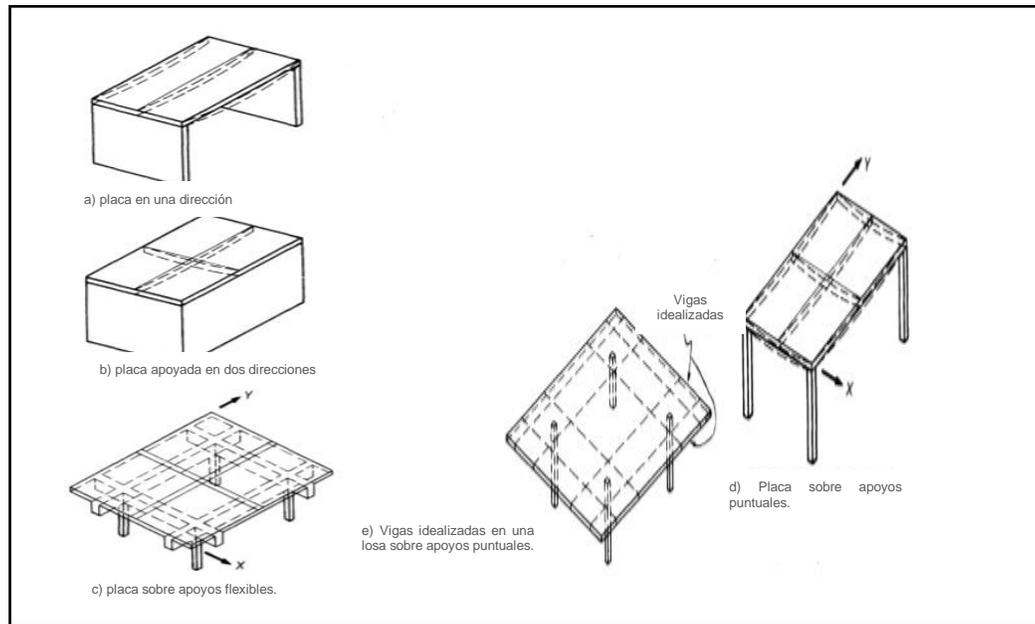


Imagen 1.17. Funcionamiento de diferentes tipos de placas.

Fuente: Meli Piralla; 2017: 289.

Una placa es un elemento severamente hiperestático. Para los materiales usuales que forman estos elementos, acero o concreto reforzado con bajas cuantías de refuerzo, se tiene un comportamiento muy dúctil que permite grandes redistribuciones de momento.

CAPÍTULO 2

SUELOS

Este capítulo se expondrá los contenidos básicos para comprender el comportamiento de un suelo, comenzando desde la definición del mismo hasta las pruebas necesarias para llevar a cabo un estudio de mecánica de suelos; cabe mencionar que las descripciones se enfocarán primordialmente en suelos finos principalmente las arcillas.

2.1 Definición del suelo.

Según la página electrónica <https://www.ecured.cu/Suelo> (2017), se denomina suelo a las ciencias de la Tierra y de la vida, a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos. Se conoce como suelo a la capa superficial de la corteza terrestre en donde subsisten organismos y crece la vegetación. Es una estructura de suma importancia para el desarrollo de la vida ya que el suelo sirve de soporte para todos.

Existen varias definiciones de los suelos, “para el Agrónomo, por ejemplo, la palabra suelos se aplica a la parte superficial de la corteza capaz de sustentar vida vegetal, siendo esta interpretación demasiado restringida para el ingeniero. Para fines de esta obra la palabra Suelo representa todo tipo de material terroso, desde un

relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves.” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 34). “De acuerdo con el concepto de ingeniería más amplio, se considera que los suelos incluyen todos los materiales terrosos, orgánicos e inorgánicos que se encuentran en la zona o capa directamente encima de la corteza rocosa de nuestro planeta.” (Donald; 1961: 21-22)

2.1.2 Naturaleza del suelo.

Los componentes primarios del suelo son: compuestos inorgánico, no disueltos, producidos por la meteorización y la descomposición de la rocas superficiales; además de los nutrientes solubles utilizados por las plantas; así como distintos tipos de materia orgánica, viva o muerta y gases y agua requeridos por las plantas y por los organismos subterráneos.

Según Donald (1961), el problema más frecuente a la hora de construir alguna cimentación se encuentra relacionado con la naturaleza del suelo. Los materiales usados para construir son elegidos según las condiciones en las que se encuentre el suelo. Existen métodos para mejoramiento del subsuelo como el de la inyección el suelo esto se aplica cuando no cumple con las características que son necesarias para desplantar alguna estructura, pero esto no es recomendable y se opta por usar el subsuelo en sus condiciones naturales; en algunas ocasiones es inadmisibile poder cimentar sobre el material del subsuelo ya que existen tipos de suelos como las turbas y los limos orgánicos los cuales tienen a ser muy compresibles y pueden presentar un gran impedimento al construir por eso es recomendable evitarlos.

Así como hay materiales muy complicados para construir existen tipos de suelos adecuados para desplantar la estructura como son arenas, gravas, arcillas duras, suelos cementados y roca; aunque cabe resaltar que la cimentación sobre roca tiene un costo muy elevado debido a la excavación que se requiere para llegar al nivel necesitado para la cimentación.

Con base en lo anterior se puede decir que la composición variable del suelo es la que genera más complicaciones al momento de construir, puesto que, aunque el suelo se describa como homogéneo, sus propiedades pueden variar demasiado.

2.1.3 Suelos residuales y transportados.

Para conocer las propiedades de los suelos es necesario saber qué tipo de suelo se está analizando.

De acuerdo con Terzaghi (1973), los suelos se pueden clasificar en dos tipos: residuales y transportados. Los suelos residuales son el producto de la descomposición química y física de las rocas y además permanecen en el sitio donde fueron creados por otra parte los suelos transportados como su mismo nombre lo dice son aquellos que fueron removidos de su lugar de origen y depositados en otro sitio diferente.

De lo expuesto por el mismo autor, los suelos residuales en climas templados o semiáridos se comportan de manera consistente y se pueden encontrar a profundidades muy pequeñas. Sin embargo, en climas calientes o húmedos este tipo de suelo lo podemos encontrar en profundidades muy bajas con un comportamiento

estable y resistente. En cambio, los suelos transportados suelen ser inestables debido a esto suelen presentar varios problemas a la hora de construir. Los suelos transportados pueden encontrarse tanto en profundidades pequeñas como muy bajas.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), los agentes de transporte más comunes en un suelo son:

- El agua.
- El viento.
- Los glaciares.
- La gravedad.

2.2 Minerales constitutivos de los suelos.

“Un mineral es un elemento o compuesto químico que se encuentra en la naturaleza, de composición definida y estructura atómica determinada, formado mediante procesos naturales e inorgánicos. Una roca puede estar compuesta por uno o varios minerales”. (<http://conceptodefinicion.com;2017>)

De acuerdo con José Lepe (1983), para poder identificar un mineral en el campo existen varias pruebas con las que se pueden obtener sus características. Algunas de ellas son:

- La dureza: es la cualidad de un mineral para soportar el desgaste.

- Fractura: la superficie quebrada de un mineral.
- Color: a veces puede ser engañoso dado que el mismo mineral puede presentar distintas decoloraciones.
- Raya: hay minerales que parecen tener el mismo color, pero presentan un color de raya muy distinto, esto se debe a los cristales ya que pueden variar de color si se observan desde distintos ángulos.

2.2.1 Minerales constitutivos de los suelos gruesos.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), la constitución mineralógica de los suelos gruesos debe tomarse como un dato informativo y no tanto como práctico, puesto que su comportamiento mecánico e hidráulico está delimitado por su compacidad. Las propiedades físicas más importantes para poder identificar un suelo grueso son: el color, el lustre, la tonalidad de sus raspaduras, la dureza, la tenacidad, su capacidad para permitir el paso de ondas y radiaciones, entre otras. Los suelos gruesos están constituidos principalmente por minerales de silicato, feldespato, micas, olivino, serpentina, etc.

2.2.2 Minerales constitutivos de las arcillas.

Los minerales arcillosos son formados principalmente por la alteración de minerales preexistentes en la roca. Estos minerales son tan diminutos que sólo pueden ser vistos utilizando un microscopio electrónico.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), las arcillas son el resultado de la descomposición química de las rocas ígneas y metamórficas, donde el mineral predominante es el silicato. El estudio de las propiedades mineralógicas de las arcillas se remota en el año 1930. En el área de la Ingeniería estos estudios son de gran utilidad puesto que el comportamiento mecánico de estos sedimentos se ve seriamente modificado por su naturaleza mineralógica.

“Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio, hidratos, presentando, además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratos. Estos minerales tienen casi siempre, una estructura cristalina, cuyos átomos se disponen en láminas.” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 37)

De lo expuesto por el mismo autor, las láminas que conforman a los átomos se clasifican en dos tipos:

- 1. La silícica:** las cuales están constituidas por un átomo de silicio, rodeado de cuatro átomos de oxígeno, como se muestra en la imagen 2.1.

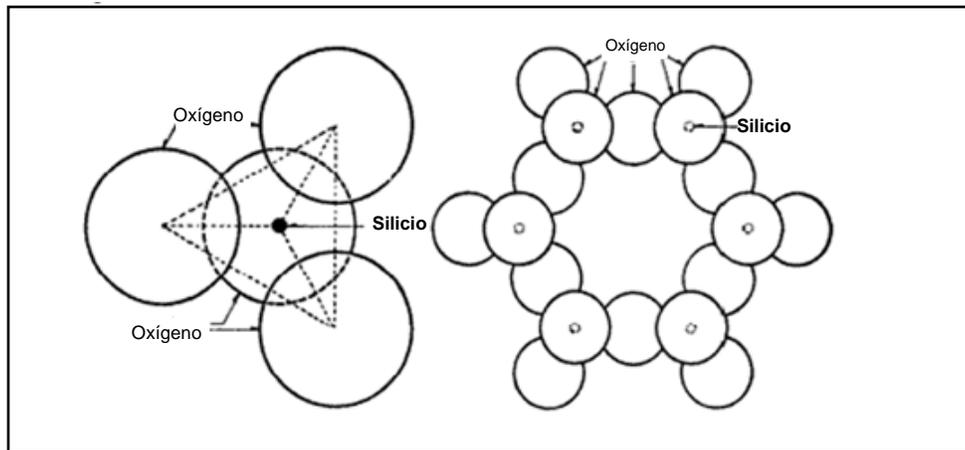


Imagen 2.1. Esquema de la estructura de la lámina silícica.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 38.

- 2. La aluminica:** están constituidas por retículas de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor. Como se muestra en la imagen 2.2.

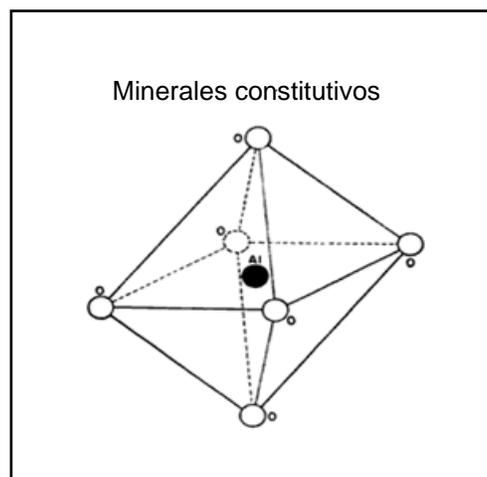


Imagen 2.2. Esquema de la estructura de la lámina aluminica.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 38.

2.2.3 Identificación de Minerales de Arcilla.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), hay diferentes métodos para poder obtener los minerales que constituyen a las arcillas los cuales son:

- Rayos X.
- Balance Térmico de las Arcillas.
- Microscopio Electrónico.
- Análisis Químico.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) explican que, los Rayos X son muy útiles ya que proporcionan la estructura interna de la arcilla. El microscopio electrónico puede observar directamente los cristales minerales, su forma y geometría. Cuando una arcilla es sometida a altas temperaturas tiene un efecto de eliminación del agua de sus retículas laminares, provocando una transformación de un mineral de arcilla en otro compuesto químico. Un método utilizado para identificar lo ya antes mencionado, además del balance térmico es el análisis químico.

Los métodos utilizados para la identificación de minerales de una arcilla tienen un nivel muy bajo en cuestión de satisfacer las necesidades para la identificación, puesto que “ el microscopio electrónico permite distinguir ciertos minerales de forma muy típica, tales como la haloistia (del grupo de las caolinitas y de forma tubular muy notable), pero sus resultados plantean problemas de interpretación en las formas de

escama, de las que participan gran número de minerales de arcilla (montmorilonitas e illitas).

La distracción por Rayos X puede ser más informativa en general, pero a causa del pequeño de los cristales y su orientación desordenada, las trayectorias de difracción de definen y distinguen muy difícilmente.

La investigación por altas temperaturas (balance térmico), es dudosa, sobre todo en arcillas formadas por mezclas mineralógicas; sus resultados se hacen entonces de muy penosa e insegura interpretación, dado que las propiedades del conjunto difieren grandemente de las partes.

El análisis químico es útil, pero da la composición integral de las arcillas y no informa sobre cómo se distribuyen sus componentes, en el caso de que se trate de arcillas producto de la mezcla de varias clases de minerales. Aun en arcillas puras, formadas por un solo mineral de composición de este puede tener variaciones importantes, por lo que los metidos químicos pueden ser conclusiones inseguras". (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005:43,44)

Con base en lo anterior, se puede decir que la identificación mineralógica en un suelo es muy importante para identificar su comportamiento expansivo, pero, aunque se cuenta con varios métodos para la identificación de los minerales que conforman a las arcillas todos ellos cuentan con una desventaja a la hora de hacer la prueba.

2.3 Propiedades físico-química de las arcillas.

Existen varias teorías en donde se explica la estructura interna de las arcillas y una de las más comunes es la que se describe a continuación.

“La superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa, según se desprende de la estructura iónica. La intensidad de la carga depende de la estructuración y composición de la arcilla. Así la partícula atrae a los iones positivos del agua (H^+) y a cationes de diferentes elementos químicos, tales como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^+ , Al^{++} , Fe^{+++} , etc. Lo anterior conduce, en primer lugar, al hecho de que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada de una capa de moléculas de agua orientadas en forma definida y ligadas a su estructura (agua adsorbida).” (Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 41)

2.3.1 Relaciones entre las fases sólida y líquida en una arcilla.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), antes se creía que los minerales de las arcillas no contaban con una forma definida, después de varias investigaciones se descubrió que tienen una forma definida, las cuales están compuestas por cristales y se encuentran altamente saturadas. La relación entre los cristales de las arcillas y el agua que las envuelve ha tenido un aporte importante a la hora de ver los comportamientos de las arcillas en una obra de ingeniería.

2.4 Fases del suelo.

El suelo es un material conformado por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por vacíos, en general ocupados por agua y aire. Para poder describir completamente las características de un estrato de suelo es necesario expresar las propiedades físicas.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez 2005, el suelo está compuesto por tres fases las cuales se definen a continuación:

- Fase sólida: está conformada por una capa sólida adsorbida.
- Fase líquida: está compuesta por el agua principalmente, aunque pueden ser otros tipos de líquido.
- Fase gaseosa: son los vacíos que tiene el suelo.

De lo expuesto por el mismo autor, existe una capa viscosa del agua adsorbida, la cual se encuentra entre la fase sólida y líquida esta fase puede llegar a evaporarse. Cuando todos los vacíos del suelo se encuentran ocupados por el agua se dice que es un suelo totalmente saturado, en este caso el suelo solo ocupa dos fases que son la sólida y la líquida, un claro ejemplo del suelo totalmente saturado es cuando el suelo se encuentra por debajo del nivel freático. En algunos casos se puede encontrar suelos con materia orgánica, como es el caso de las turbas, en este tipo de suelo se encuentra presente la materia orgánica en residuos vegetales en su totalidad descompuestos. La materia orgánica y las capas adsorbidas no se toman en cuenta a la hora de la medición de pesos y volúmenes relativos en las tres fases

del suelo, aunque son importantes para la clasificación de las propiedades mecánicas.

En la siguiente imagen se puede apreciar las fases principales del suelo:

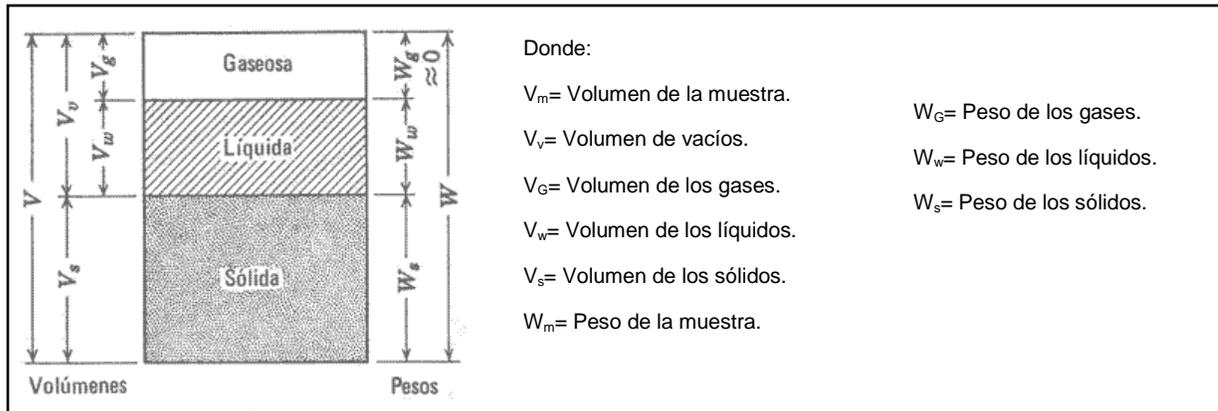


Imagen 2.3. Fases de una muestra de suelo, para indicación de los símbolos usados.

Fuente: <http://notasingenierocivil.blogspot.mx>; (2017).

2.4.1 Relaciones fundamentales para el manejo de las propiedades mecánicas de los suelos.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), las relaciones que se muestran a continuación son de suma importancia para poder entender el comportamiento de los suelos:

- **Relación de vacíos:** también conocida como oquedad o índice de poros, cuando se habla de la relación de vacíos se refiere a la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos de una muestra de suelo. Su medida es adimensional y puede tomar valores de cero a infinito (∞).

A continuación se muestra la fórmula para obtener la relación de vacíos existente:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Algunos valores usuales son los que se muestran en la siguiente tabla:

e	Suelo
0.25	Arenas muy compactas
0.85	Arena limosa
1	Arena fina uniforme
1.2	Limo uniforme
6	Arcillas muy compresibles (Ciudad de México).
15	Arcillas altamente compresibles.

Tabla 2.1. Valores más usuales en la relación de vacíos.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993: 5.

- **Porosidad:** es la cantidad de huecos que puede presentar una muestra de suelo y es la relación que hay entre el volumen de vacíos y el volumen de su masa. Se expresa en porcentaje y puede tomar valores de cero a cien. En seguida se aprecia la fórmula para la obtención del porcentaje de huecos en la muestra:

$$n(\%) = \frac{Vv}{Vm}$$

En la siguiente tabla se pueden observar los valores más usuales en la porosidad:

n (%)	Material
20	Arenas muy compactas.
90	Arenas muy compresibles.
100	Aire.

Tabla 2.2. Valores usuales en la porosidad.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993: 5.

- **Grado de saturación:** es la relación que existe entre el volumen de agua y el volumen de vacíos de un suelo. Se expresa en porcentaje y puede tomar valores de cero cuando se trata de un suelo seco a cien tratándose de un suelo saturado. En seguida se puede observar la fórmula para calcular el grado de saturación:

$$Gw(\%) = \frac{Vw}{Vv}$$

Para saber el grado de saturación en que se encuentra un suelo es necesario considerar tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Grado de saturación (%)	Tipos de suelo
0	Suelo seco.
1-99	Parcialmente saturado.
100	Totalmente saturado.

Tabla 2.3. Grado de saturación.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993:5

- **Contenido de agua:** es resultado de la relación del peso de agua entre el peso de la fase sólida de la muestra del suelo. Se representa en porcentaje y sus valores teóricos van de cero a infinito (∞). La siguiente fórmula es utilizada para calcular el contenido de agua de una muestra:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s}$$

La humedad de los suelos puede tomar valores muy amplios, puesto que dependen diversos factores, en la siguiente tabla se muestran algunos valores típicos:

W (%)	Tipo de suelo
19	Arcilla densa.
40	Arcilla glacial saturada.
200	Arcilla bentónica.
300- 600	Arcilla compresible (Ciudad de México).
1000	Arcillas altamente compresibles.

Tabla 2.4. Humedad de los suelos.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993:6

2.4.3 Pesos específicos o volumétricos.

Existe una relación entre peso específico de las diferentes fases del suelo con el volumen, esto según Juárez Badillo y Rico Rodríguez 2005. De acuerdo con G. Rivera y Jorge Reyna (1993), se tienen los siguientes pesos específicos:

- **Peso específico húmedo:** también conocido como peso específico de la masa, es el resultado que da de dividir el peso total de la muestra entre su volumen. Su medida más usual es ton/m^3 aunque también se puede encontrar como gr/cm^3 o kg/m^3 . A continuación se observa la fórmula para determinar el peso específico húmedo:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

- **Peso específico seco:** se trata de la división del peso de los sólidos entre el volumen total de la muestra, en este caso no se toma en cuenta el peso del agua. Su medida está dada en ton/m^3 . La siguiente fórmula es utilizada para el cálculo del peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

En la siguiente tabla se muestra cómo se relaciona el peso específico y la relación de vacíos comunes de estructuras de contacto:

Descripción del suelo	Relación de vacíos		Peso específico (Kg/m^3)	
	máx.	mín.	mín.	máx.
Arena subangular uniforme	0.85	0.5	1890 sat.	2100 sat.
Arena subangular de buena graduación	0.7	0.35	1970 sat. 1550 sec.	2230 sat. 1950 sec.
Grava arena limosa de muy buena graduación	0.65	0.25	2000 sat. 1600 sec.	2320 sat. 2110 sec.
Arena y limo micáceos	1.25	0.8	1760 sat. 1200 sec.	1950 sat. 1510 sec.

Tabla 2.5. Relaciones de vacíos y pesos específicos típicos de estructuras de contacto.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993:7

- **Peso específico sumergido:** el principio de Arquímedes lo clasifica como un suelo sumergido en agua el cual experimenta un empuje hacia arriba de igual manera que el peso del volumen del agua desalojada. Se expresa en ton/m^3 y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma' = \frac{W_m}{V_m} - 1$$

A continuación, se muestra una tabla en donde se encuentran algunos tipos de suelos más usuales junto con sus pesos específicos aproximados:

Suelo	γ_d (Ton/m^3)	$\gamma_{\text{sat.}}$ (Ton/m^3) Gw=100%	γ' (Ton/m^3)
Arena uniforme suelta	1.43	1.89	0.89
Arena uniforme compactada	1.75	2.09	1.09
Arcilla blanda	–	1.43	0.43
Arcilla muy blanda	–	1.27	0.27

Tabla 2.6. Peso específico de algunos suelos.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993: 8.

- **Peso específico relativo:** es la relación que existe entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua. Su medida es adimensional y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma^\circ} = \frac{W_m}{V_m \gamma^\circ}$$

- **Compacidad relativa:** se utiliza para medir la compacidad de un manto de una estructura simple. Se expresa en porcentaje y se calcula con la fórmula siguiente:

$$Cr(\%) = \frac{e_{max} - e_{nat}}{e_{max} - e_{min}}$$

Dónde:

$$e_{nat} = e = \frac{S_s V_m \gamma^\circ}{W_s} - 1$$

2.5 Plasticidad.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005) explican que, desde épocas antiguas el termino plasticidad fue utilizado para suelos que toman una consistencia elástica característica en el momento en que se les agrega agua, a estos suelos comúnmente se les conoce como arcillas, este significado fue adoptado por la Mecánica de Suelos para clasificar a los suelos que presentaban esta característica.

De lo expuesto por el mismo autor, la plasticidad pasa de ser una simple característica del suelo a una propiedad de interés científico del ingeniero puesto que se descubrió que cuenta con una relación con las propiedades físico-químicas de las arcillas, lo que influye ampliamente en el comportamiento mecánico de dichos suelos y actualmente se han asociado la plasticidad con las características de esfuerzo-deformación de los materiales.

De acuerdo con G. Rivera y Jorge Reyna (1993), el termino plasticidad de un cuerpo se dice que es la capacidad o propiedad de un material el cual es capaz de soportar deformaciones sin rebote elástico, sin sufrir cambios volumétricos apreciables además sin desmoronarse ni agrietarse.

2.5.1 Estados límites de consistencia.

Según G. Rivera y Jorge Reyna (1993), existen varios criterios que ayudan a medir la plasticidad de las arcillas; pero el más utilizado es el de Atterberg, quien dio a conocer que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino puramente circunstancial y dependiente de su contenido de agua; además que

existen diferentes estados de los suelos finos en función del contenido de agua, llamados Estados de Consistencia.

A continuación, en la imagen 2.4 se muestran las diferentes consistencias del suelo en función al incremento del contenido de humedad de acuerdo a la página de internet www.ingenierocivilinfo.com (2017).

Incremento del contenido de humedad (%)	Límite líquido	Estado líquido:	Fácilmente deformable. Tiene una consistencia similar a mantequilla suave.
	Límite plástico	Estado plástico:	se deforma sin romperse. Tiene una consistencia de mantequilla suave a masilla en endurecimiento.
		Estado semi-sólido:	Al deformarse no recupera su forma inicial. Su consistencia es quebradiza similar a un queso.
	Límite de contracción	Estado sólido:	Se rompe antes de deformarse. Su consistencia es similar a un dulce duro.

Imagen 2.4. Consistencia del suelo según su contenido de humedad.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com>; (2017).

Posteriormente Terzaghi y Casagrande idearon métodos para determinar dichos contenidos de humedad específicos, para los distintos estados de consistencia.

De acuerdo con G. Rivera y Jorge Reyna (1993), Atterberg estableció las primeras convenciones las cuales los nombró límites de consistencia, siendo los más importantes:

- **Límite líquido (LL):**

Se trata del contenido de agua de un suelo fino para el cual éste tiene resistencia al esfuerzo cortante 25gr/cm^2 .

Su valor es obtenido a partir del método de la Copa de Casagrande (método empírico), el cual consiste en colocar una porción de mezcla homogénea del suelo, dentro de la copa y enrasarlo, posteriormente con un ranurador crear una pequeña ranura de aproximadamente 2mm de base (se puede observar en la imagen 2.7).

Después, mediante una pequeña leva la copa se levanta y cae repentinamente, se repite varias veces hasta que se cierra la ranura. Para la determinación del límite líquido se hace por medio de tanteos, esto quiere decir, se efectúa una prueba en la Copa de Casagrande y cuando se cierre la ranura se obtiene el contenido de agua, siendo que cuando se requieren justamente 25 golpes para cerrar la ranura hecha en la muestra, se dice entonces que se encuentra en el Límite Líquido.



Imagen 2.5. Copa de Casagrande.

Fuente:

[http://www.estudiosgeotecnicos.info;\(2017\).](http://www.estudiosgeotecnicos.info;(2017).)

Este procedimiento se repite 4 veces en el cual dos determinaciones tienen que ser más de 25 golpes y los otros dos se encuentren debajo de dicho número.

Si los resultados se grafican tomando en cuenta que el contenido de agua en por ciento ($w\%$) es representada en el eje de las ordenadas y el número de golpes de cada prueba (N) en el eje de la abscisas (escala logarítmica), los puntos obtenidos se unen por una recta. Entonces, para determinar el LL del suelo sólo es necesario encontrar el valor correspondiente al contenido de agua para 25 golpes. Como se puede observar en la siguiente imagen:

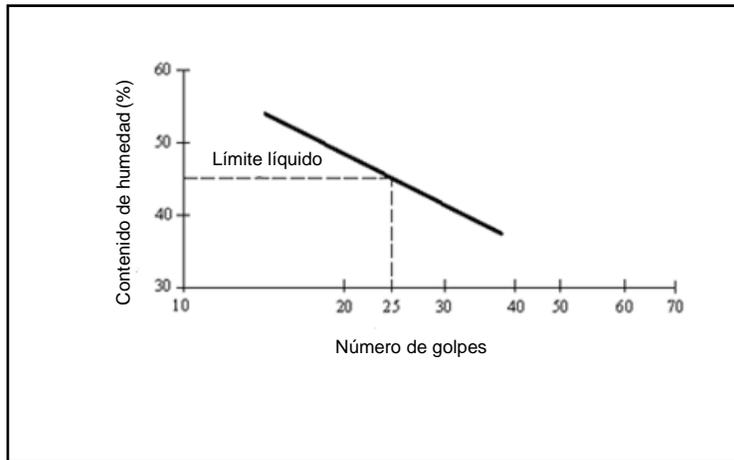


Imagen 2.6. Determinación del límite líquido del suelo.

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com;>(2017).

- **Límite plástico (LP):**

Se trata del contenido de agua al cual el suelo empieza a perder sus propiedades plásticas para pasar a un estado semisólido.

Para determinar el límite plástico se lleva a cabo una prueba en el laboratorio, colocando un 1cm^3 de mezcla agua-suelo sobre un vidrio pulido se comenzando a rolar el suelo hasta conseguir cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro; en el momento en que, al seguir rolando los cilindros y estos comienzan a agrietarse, entonces se dice que están llegando al límite plástico, el cual se determina por medio de su contenido de agua.

- **Límite de contracción (LC)**

Esta propiedad característica se refiere cuando el suelo pierde agua y su volumen comienza a disminuir, esto se debe a las fuerzas de tensión capilar que son producidas por el agua intersticial. Este límite suele manifestarse visualmente al cambiar de color de un tono oscuro a más claro.

Según G. Rivera y Jorge Reyna (1993), los límites expuestos anteriormente son muy importantes para describir la plasticidad en una arcilla; el índice de plasticidad, es el parámetro que numéricamente es igual a la diferencia de límite líquido y el plástico tal como se muestra a continuación:

$$I_p = LL - LP$$

2.5.2 Carta de Plasticidad.

De acuerdo con G. Rivera y Jorge Reyna (1993), con el límite líquido y el índice de plasticidad, Casagrande empezó a obtener características que indicaban el comportamiento de los suelos y construyó la “Carta de Plasticidad”, con la que se puede tener información a nivel cualitativo sobre el comportamiento de dichos suelos.

En seguida se muestra la carta de plasticidad según el Sistema Unificado de Suelos (S.U.C.S.):

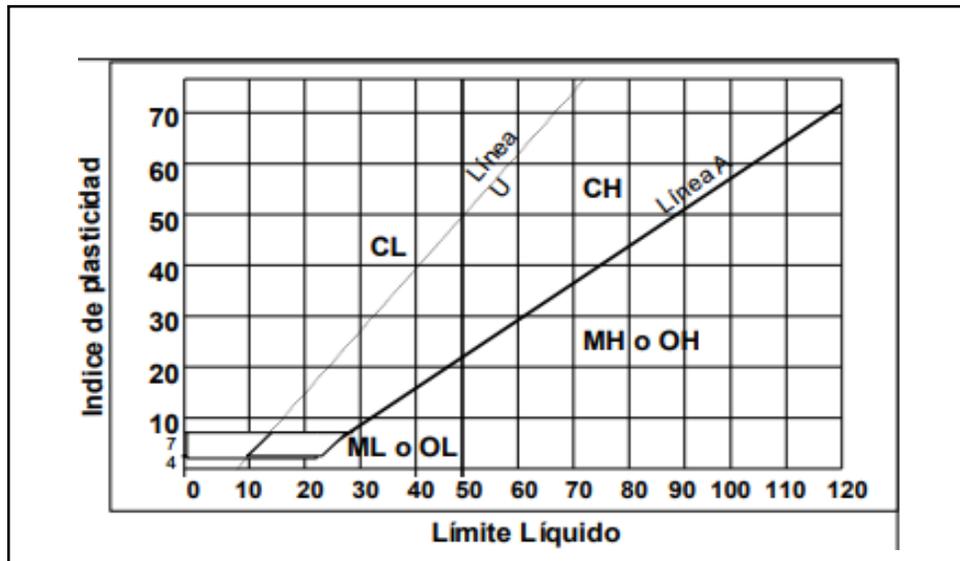


Imagen 2.7. Carta de Plasticidad según el S.U.C.S.

Fuente: [www.bdigital.unal.edu.com](http://www.bdigital.unal.edu.com;); (2017).

De lo expuesto por el mismo autor, dentro de la carta de plasticidad, se han creado grupos con los suelos a los cuales se les asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas, basándose en el siguiente criterio:

SIMBOLO	SIGNIFICADO
M	Limos Inorgánicos
C	Arcillas Inorgánicas
O	Limos y Arcillas Orgánicas

Tabla 2.7. Criterio para asignar un símbolo a las agrupaciones de la carta de plasticidad.

Fuente: G. Rivera y Jorge Reyna; 1993: 54.

Estos suelos se subdividen tomando en cuenta su límite líquido en dos grupos:

- **Low compressibility (baja compresibilidad):** sí el límite es menor de 50%, se clasifican como suelos de baja o mediana compresibilidad, a lo cual se le añade al símbolo la letra L.
- **High compressibility (alta compresibilidad):** sí el límite es mayor al 50% se clasifica como un suelo de alta compresibilidad, y son acompañados por la letra H.

Con base en lo anterior se puede decir que, al aumentar el límite líquido los suelos se vuelven más compresibles; por lo que el aumento de materia orgánica disminuye su plasticidad. Los suelos orgánicos son muy compresibles por lo que su resistencia al corte es escasa o nula, lo que provoca que en edificaciones construidas sobre ellos, se presenten hundimientos considerables, con el paso del tiempo.

2.6 Estructuración de los suelos.

La estructura de un suelo se refiere a la agregación de las partículas individuales del suelo para generar unidades de mayor tamaño que generalmente se conocen como agregados o terrones.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), los suelos formados por partículas grandes como gravas y arenas, las fuerzas que intervienen para crear la estructura son bastante conocidas y los efectos que estas provocan son fáciles de clasificar las cuales se pueden verificar a simple vista. Sin embargo, al tratarse de

suelos formados por partículas pequeñas como limos y arcillas las fuerzas que intervienen para su creación son mucho más complicadas y las estructuras que se crean solo se pueden verificar a través de métodos indirectos un poco complejos.

2.6.1 Clasificación de suelos.

La acción conjunta de los factores que condicionan la formación y evolución del suelo conduce al desarrollo de diferentes perfiles o tipos de suelos. De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), a pesar del escaso conocimiento que se tenía sobre los suelos los investigadores científicos han desarrollado sistemas de clasificación, de los cuales los basados en características granulométricas, sobresalieron. Para cubrir las necesidades correspondientes, dicho sistema debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, por ser éstas lo más importante en las aplicaciones relacionadas con la ingeniería civil, principalmente.

De los diversos estudios para encontrar un sistema de clasificación que satisfaga las diferentes áreas de aplicación en Mecánica de Suelos, sobresalen los realizados por el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, de los cuales destaca el Sistema de Clasificación de Aeropuertos, este sistema reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas inferiores que la malla N° 200, se deducen cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. Y los suelos conformados por partículas superiores que la malla ya antes mencionada, el criterio es utilizado como base para la clasificación en materiales granulares.

2.6.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. (Anexo C).

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos está basado en el Sistema de Aeropuertos, solo que con unas cuantas modificaciones. El SUCS clasifica a los suelos gruesos y finos mediante el cribado en mallas. Utiliza la malla #4 para separar las gravas de las arenas y la malla #200 para retener las arenas y que pasen todos lo finos.

De acuerdo con Terzaghi (1973), para que un suelo se clasifique como grava se tuvo que haber retenido >50% del material cribado por el tamiz #4 y para que se clasifique como arena se tiene que retener <50% en el tamiz #4. Para diferenciar un suelo fino de un suelo grueso tiene que pasar >50% del material cribado por el tamiz #200.

“Los granos finos de se dividen en tres grupos: limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicos (O). Cada uno de ellos se subdivide a su vez en los que tienen límites líquidos menos de 50% (L) o mayor de 50% (H).” (Terzaghi; 1973:40)

Según Terzaghi (1973), para diferenciar las arcillas inorgánicas C, los limos inorgánicos M y suelos inorgánicos se utiliza una carta de plasticidad, la cual se muestra a continuación:

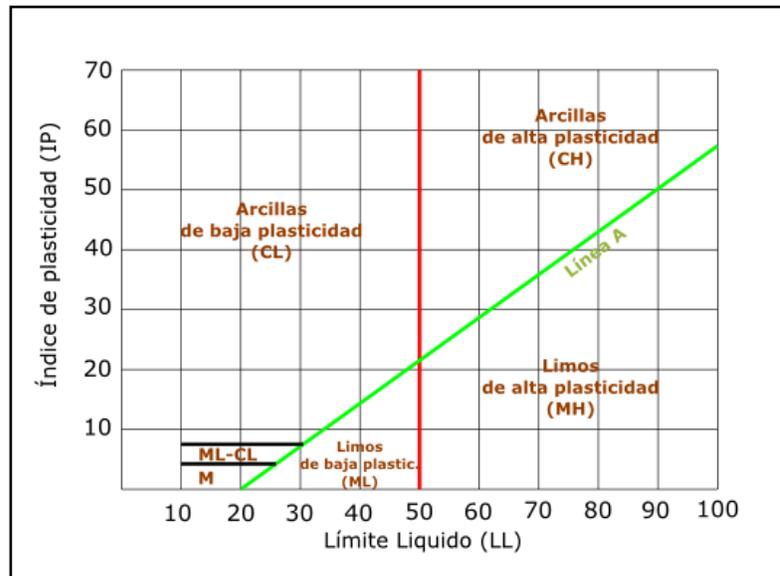


Imagen 2.8. Carta de plasticidad modificada adaptada para ser utilizada con el SUCS.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 38.

2.6.3 Curva granulométrica.

Según G. Rivera y Jorge Reyna (1993), la curva de distribución granulométrica demuestra el tamaño de los granos y la graduación de estos ya sea mala o buena.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), la gráfica granulométrica se dibuja con porcentaje de muestra que pasa cada uno de los tamices, como ordenadas y tamaños de la abertura del tamiz, como abscisas. Los siguientes tipos de suelos se representan en la imagen 1.8.

- A. Arena muy uniforme, Ciudad Cuauhtémoc, México.
- B. Suelo bien graduado, Puebla, México.

C. Arcillas del Valle de México (curva obtenida con hidrómetro).

D. Arcilla de Valle de México (curva obtenida con hidrómetro).

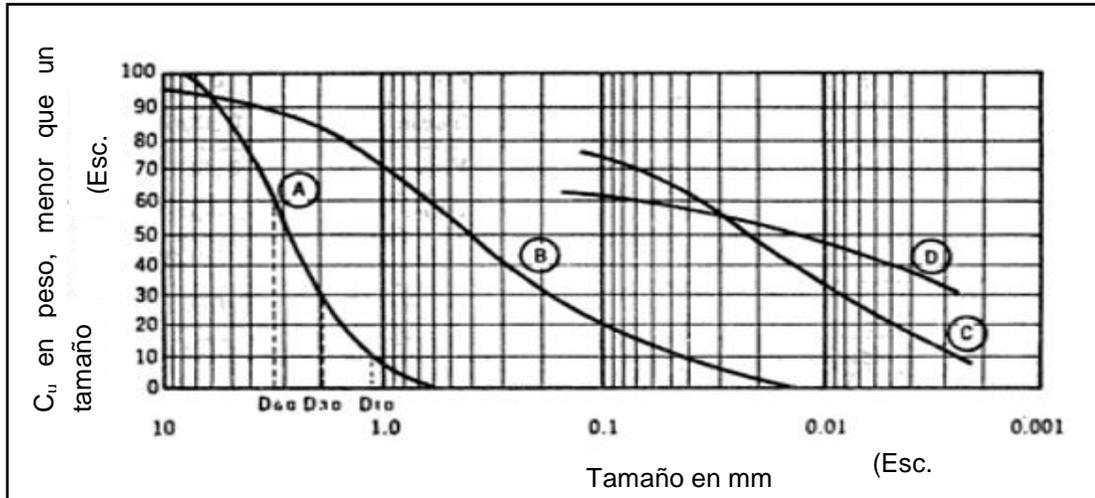


Imagen 2.9. Curvas granulométricas de algunos suelos.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 100

De la curva de distribución granulométrica se pueden obtener dos indicadores que caracterizan al suelo y así poder clasificarlo.

- **El coeficiente de uniformidad (Cu):** definido originalmente por Terzaghi y Peck, se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo y se expresa con la siguiente relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- **El coeficiente de curvatura (Cc):** este coeficiente refleja la curvatura de la curva granulométrica. Los suelos bien graduados tienen valores de este coeficiente comprendidos entre uno y tres; se obtiene con la siguiente fórmula:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

De las ecuaciones anteriores:

- D_{60} = diámetro de partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 60% del peso total de partículas.
- D_{30} = el diámetro de las partículas es mayor o igual que el 30% del peso total de partículas.
- D_{10} = se trata del diámetro efectivo, cuyo tamaño es mayor o igual que el 10% en peso del total de las partículas del suelo.

2.6.4 Suelos gruesos: análisis por mallas.

Como se dijo anteriormente el análisis granulométrico solo tiene sentido en suelos gruesos, o sea aquellos que se encuentran entre 0.074 y 76.2 mm, según G. Rivera y Jorge Reyna (1993), la medición en el tamaño de los granos de un suelo se puede efectuar de la siguiente manera:

- **Análisis directo.** Se utilizan aparatos manuales como el vernier, con los cuales se pueden hacer mediciones en partículas de un suelo mayores a 3 pulgadas de tamaño.

- **Medición con mallas.** Es utilizado en suelos gruesos para obtener la gráfica en una escala semilogarítmica del porcentaje de material que pasa, en peso y el diámetro de la malla, una vez graficados se obtiene la Curva de Distribución Granulométrica la cual se representa en la imagen 2.10. En este procedimiento suelen presentarse problemas cuando se clasifican suelos finos, por ello se utiliza el procedimiento de la vía humedad el cual consiste en lavar el material para que pueda pasar. Logarítmicamente, el peso del suelo se incrementa por lo que la muestra obtenida tiene que pasar por un proceso de secado en un horno.

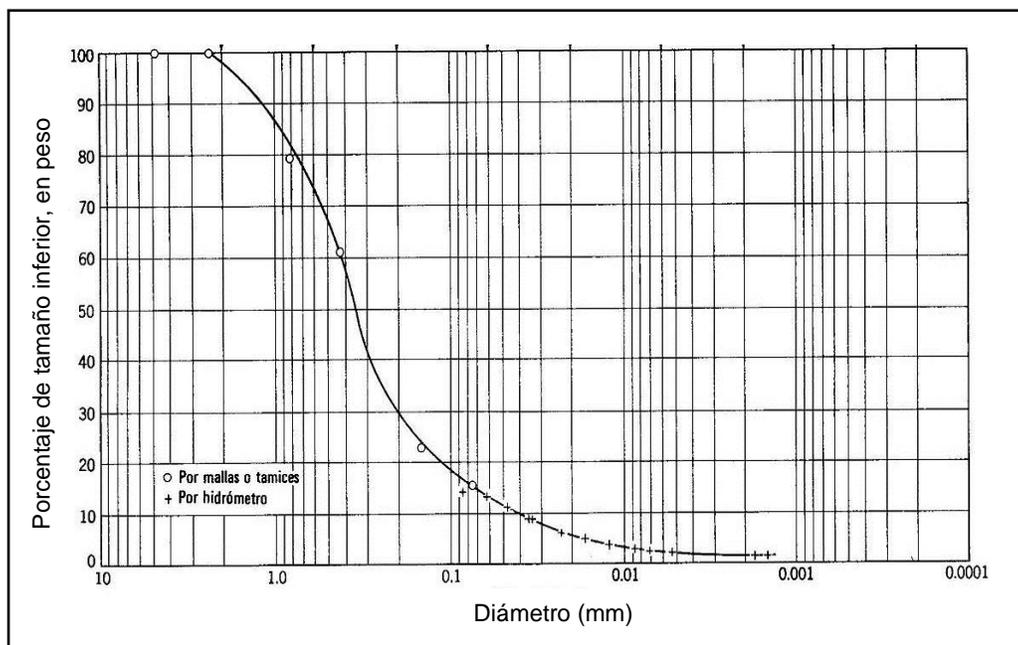


Imagen 2.10. Curva de Distribución Granulométrica.

Fuente: G. Rivera v Jorae Revna. 1993:34

2.6.5 Suelos finos, análisis con hidrómetro.

El objetivo principal de hacer un análisis con el hidrómetro es la obtención del porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) puesto que la curva de distribución granulométrica cuando es más del 12% del material que pasa a través de la malla No.200 no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva.

En ocasiones es necesario obtener la granulometría de los suelos finos o sea aquellos cuyo tamaño es menor a 0.074mm. Como no existen mallas menores que la No.200, se utiliza el análisis con hidrómetro el cual consiste en tener una mezcla homogénea de suelo-agua, la cual está basada en la hipótesis de Stockes, la cual dice que la velocidad de sedimentación de las partículas pequeñas es menor que la de las partículas gruesas.

De acuerdo con G. Rivera y Jorge Reyna (1993), para que se los resultados sean más exactos, la muestra se puede pasar en varias ocasiones por el hidrómetro.



Imagen 2.11. Hidrómetro.

Fuente:

[http://equipamientocientifico.com;\(2017\).](http://equipamientocientifico.com;(2017).)

2.6.6 Clasificación de los suelos en el terreno.

Terzaghi (1973) dice que, los suelos en el campo se pueden clasificar como:

- **Gravas y arenas:** las gravas y arenas son el resultado de la trituración o desintegración parcial o total de las rocas, se trata de un suelo sin cohesión lo que significa que no hay unión entre sus partículas.
- **Limos (orgánicos e inorgánicos):** los limos orgánicos con una plasticidad media y que están conformados por materia orgánica la cual a veces puede ser visible, la descomposición de la materia orgánica le da un olor y color que puede ser gris o gris oscuro. Los limos orgánicos suelen ser muy compresibles y ser casi impermeables. “Los limos inorgánicos son relativamente impermeables, pero cuando se encuentran en estado suelto pueden subir de

fondo de una perforación o excavación como si fueran un espeso fluido viscoso.” (Terzaghi; 1973: 6)

- Arcillas (orgánicas y laminadas): las arcillas son el producto de la descomposición química de las rocas. Se dice que son suelos plásticos cuando están en contacto con algún líquido primordialmente el agua, y en estado seco son extremadamente duros y su permeabilidad es despreciable. En cuanto a las arcillas orgánicas son caracterizadas por tener materia orgánica en su composición además se distinguen por tener olor y color que puede ser entre gris oscuro y negro.

Las arcillas laminadas están conformadas por una alteración de capas entre limo inorgánico y arcillas limosas. Normalmente el espesor no se pasa de un centímetro, aunque pueden existir unas más anchas. Las arcillas laminares se formaron debido a “los elementos que forman dichas arcillas fueron transportados a lagos de agua dulce por el agua proveniente del deshielo, al terminar el periodo glaciario. Generalmente poseen, combinadas las propiedades indeseables de los limos y de las arcillas blandas.” (Terzaghi; 1973: 8).

2.7 Prueba de consolidación unidimensional de los suelos.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), todos los materiales presentan deformaciones cuando están sujetos a un cambio en sus condiciones de esfuerzo. Las características esfuerzo-deformación-tiempo de un suelo dependerán, no solo del

tipo de suelo y su estado de consistencia, sino también de la forma en que es cargado, de su ubicación estratigráfica, etc. Es necesario estudiar estas características del suelo, debido a que en general estos sufren deformaciones superiores a las de la estructura que le transmite la carga puesto que, la deformación en los suelos no se produce en forma simultánea a la aplicación de la carga, sino que se da con el transcurso del tiempo. Por ejemplo, cuando un estrato de arcilla soporta una estructura, se necesitan varios años para que la deformación del suelo finalice.

Una prueba de consolidación unidimensional estándar se realiza de la siguiente manera:

- Se anota el peso propio del anillo para confinar la muestra.
- Se labra la muestra de modo que quede de las dimensiones del anillo, posteriormente se ranura lo que sobresale del anillo, hasta lograr una superficie continua a nivel.
- Se coloca un filtro para que el material de la prueba no se salga, después se coloca una piedra porosa junto con placa en la que ira la esfera metálica y finalmente se coloca con cuidado el anillo en la cazuela del consolidómetro, procurando que el anillo no sufra ningún movimiento después de colocado. En la imagen 1.14, se puede apreciar claramente el detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro de anillo flotante:

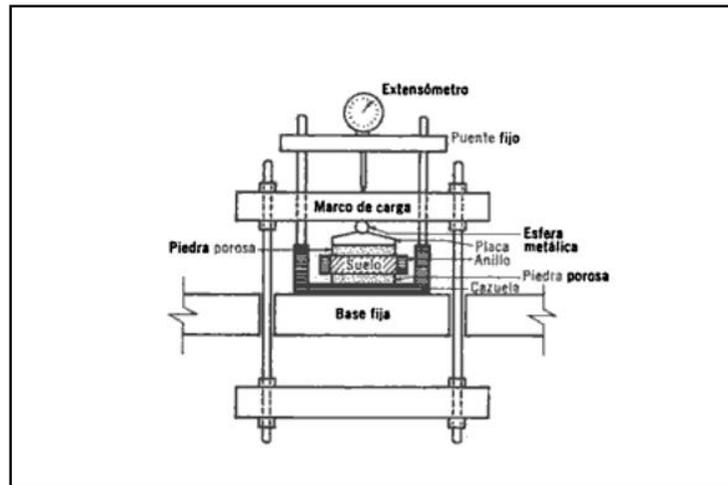


Imagen 2.12. Detalle de la colocación de la muestra en el consolidómetro.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005:

- Posteriormente ya que el anillo fue colocado en el consolidómetro, se comienza por agregar cargas en un cierto periodo de tiempo y a su vez se anotan las lecturas que marca el extensómetro.
- Se procede a descargar la prueba con el mismo procedimiento anterior tomando nota de las lecturas que marque el extensómetro en el tiempo determinado.
- Una vez aplicado todos los incrementos de carga; se obtienen valores con los cuales se realiza una gráfica en cuyas abscisas se ponen los valores de la presión actuante, en escala natural o logarítmica y en las ordenadas se anotan los valores de “e” en escala natural. Estas curvas se llaman de compresibilidad y de ellas se obtiene una en cada prueba de consolidación completa. A continuación, se muestran las formas típicas de estas curvas:

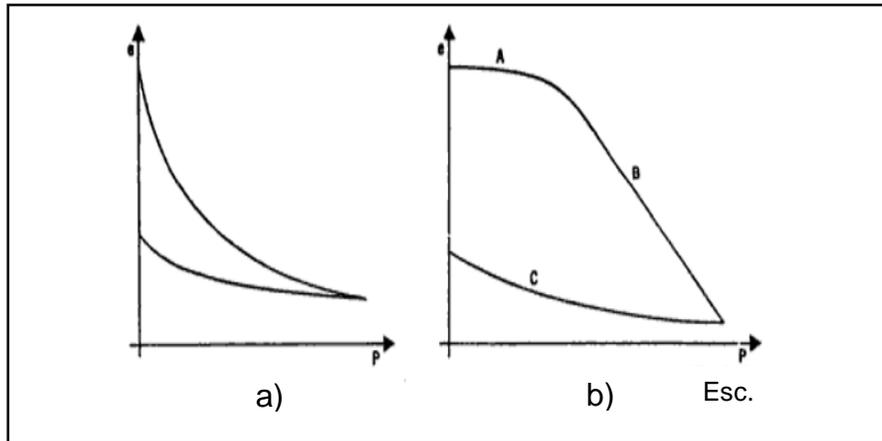


Imagen 2.13. Forma típica de la curva de compresibilidad en suelos compresibles.

a) Es la representación aritmética, b) Representación semilogarítmica.

Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez; 2005: 251.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), en una curva de compresibilidad para suelos compresibles se definen tres tramos diferentes:

- Tramo A: tramo de recompresión.
- Tramo B: tramo virgen.
- Tramo C: tramo de descarga.

2.7.1 Analogía mecánica de Terzaghi.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), para comprender el proceso de consolidación unidimensional de suelos finos, es necesario estudiar un modelo mecánico propuesto por Terzaghi, el cual es una modificación de un modelo el cual es originalmente sugerido con otros fines por Lord Kelvin.

El modelo propuesto por Terzaghi consiste en un cilindro de sección A con un pistón sin fricción el cual posee una pequeña perforación.

El pistón se encuentra unido a un resorte y el cilindro en su interior está lleno de un líquido incompresible. Si una carga P es puesta sobre el pistón, teniendo el orificio cerrado, es indudable que el resorte no sufrirá ninguna deformación, por lo cual la carga P se encontrará soportada por el líquido. Sin embargo si se deja que el líquido salga por el orificio formando un gradiente de presiones P/A entre el interior y exterior del cilindro lo cual ocasiona que el líquido salga, y a medida que el líquido sale, el resorte comenzará a deformarse y por lo tanto tomará una parte de la carga P tal como se puede observar en la imagen 2.14.

La velocidad a la cual se transfiera la carga desde el líquido al resorte dependerá del tamaño del orificio y de la viscosidad del líquido.

Con base en lo anterior, en analogía con el caso del suelo, la estructura de las partículas sólidas se encuentra representada por el resorte; el agua que interfiere por el líquido incompresible; y los vacíos que conforman el suelo son representados por el orificio.

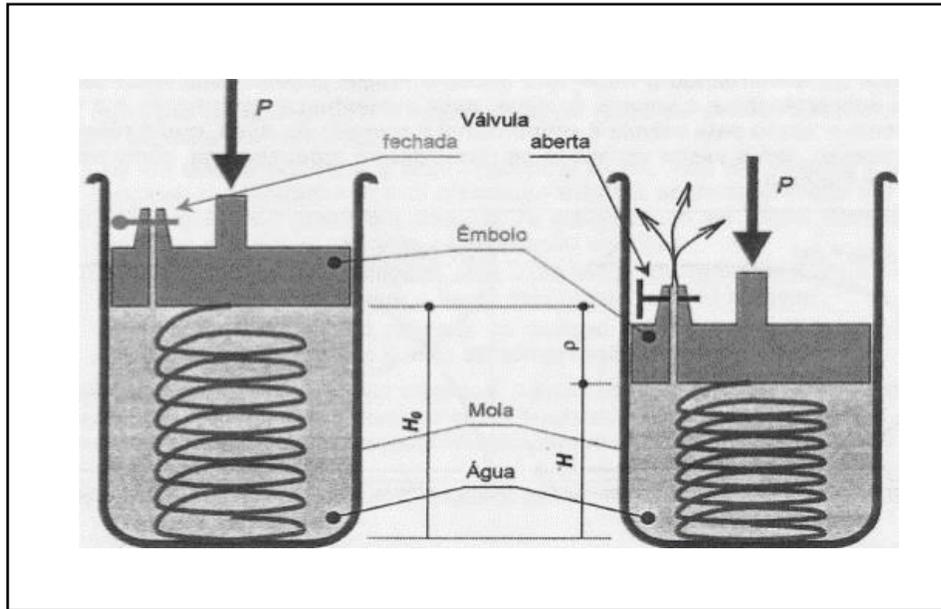


Imagen 2.14. Modelo mecánico de Terzaghi para la comprensión de la consolidación de suelos finos.

Fuente: <http://www.fceia.unr.edu.ar> ;(2017).

2.8 Pruebas de compresión triaxial.

De acuerdo con Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), las pruebas de compresión triaxial son ejecutadas para determinar las características de esfuerzo-deformación y resistencia de los suelos a esfuerzos cortantes, que se generan cuando los esfuerzos principales que actúan sobre una muestra de suelos de forma cilíndrica comienzan a variar.

La prueba de ensayo triaxial es utilizada para determinar los parámetros de la resistencia al cortante. Para llevar a cabo un ensayo triaxial, es necesario una muestra cilíndrica de suelo revestida con una membrana de látex dentro de una cámara a presión, Con base en la página electrónica <https://mecanicadesuelos.com>,

La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar la muestra. En estas pruebas

se pueden tener diferentes presiones las cuales se encuentran actuando en tres direcciones ortogonales sobre la muestra de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Las muestras están sujetas a presiones laterales de un fluido, usualmente agua. Tal como se puede apreciar en la siguiente imagen:

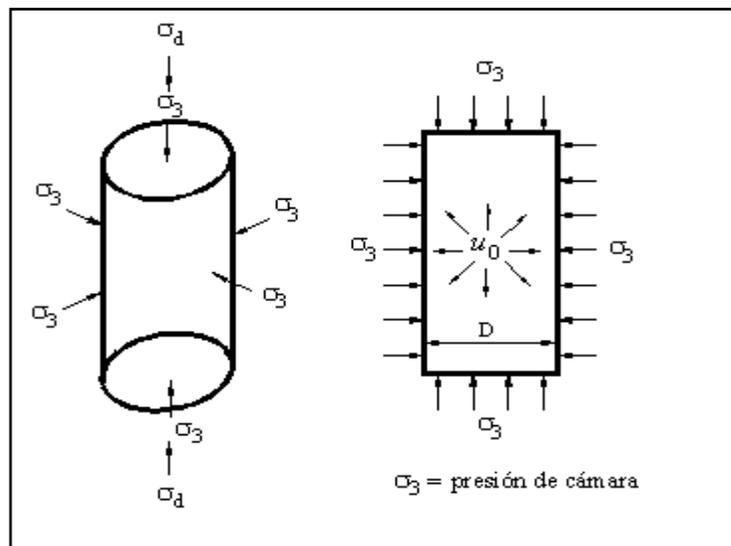


Imagen 2.15. Presiones actuantes sobre la muestra de suelo.

Fuente: [http://www.ingenierocivilinfo.com](http://www.ingenierocivilinfo.com;); (2017).

El agua de la cámara puede tomar cualquier presión deseada por la acción de un compresor que se encuentra comunicado con ella. La carga axial es transmitida a la muestra por medio de un vástago que atraviesa la parte superior de la cámara.

La presión ejercida con el agua que llena la cámara es hidrostática y produce por lo tanto, esfuerzos principales sobre la muestra de suelo, los cuales son iguales tanto lateral como axialmente.

A continuación, en la imagen 2.16. Se pueden apreciar los detalles principales de una cámara triaxial.

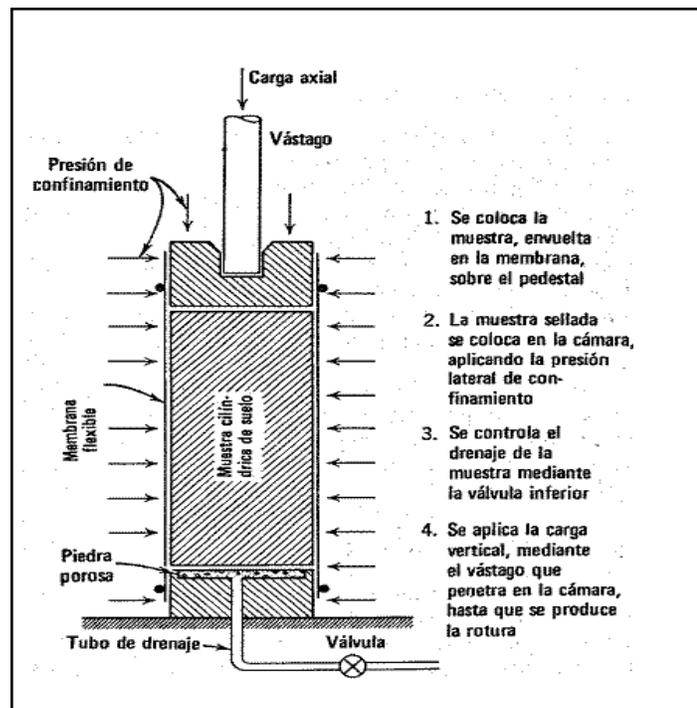


Imagen 2.16. Detalles principales de una cámara triaxial.

Fuente:

[http://notasconstructorcivil.blogspot.mx](http://notasconstructorcivil.blogspot.mx;); (2017).

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), existen diferentes tipos de pruebas triaxiales:

- Prueba lenta – Prueba con consolidación y con drenaje (CD).
- Prueba rápida – Prueba con consolidación y sin drenaje (CU).
- Prueba rápida – Prueba sin consolidación y sin drenaje (UU).

2.8.1 Prueba de compresión simple.

Según Juárez Badillo y Rico Rodríguez (2005), la prueba de compresión simple es la más utilizada en los laboratorios de Mecánica de Suelos para los trabajos de rutina. Esta prueba es limitada a arcillas y suelos cohesivos, puesto que en arenas y suelos arenosos no es posible el labrado de las muestras.

La prueba de compresión simple es realizada para determinar la resistencia o el esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación y utilizando una muestra de suelo inalterada tallada en forma de cilindro.

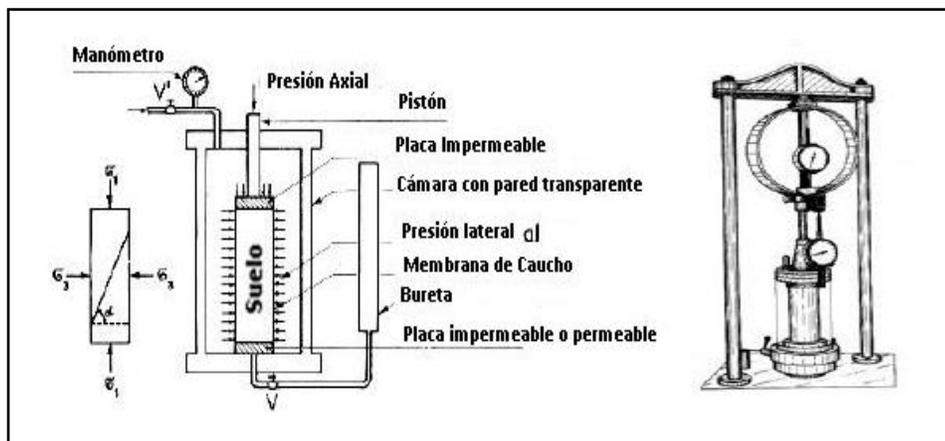


Imagen 2.17. Compresión simple.

Fuente: <http://fisica.laguia2000.com>; (2017).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Este capítulo se enfocará en definir lo que es una cimentación, sus características además de explicar los tipos y el por qué se clasifican de esa forma.

3.1 Definición de cimentación.

Según Gabriel Gallo y colaboradores (2005), la cimentación es un elemento estructural el cual se encarga de transmitir las cargas de la estructura sobre el terreno en que se encuentra desplantada, con el afán de disminuir o evitar hundimientos y el volteo ocasionado por la acción de las cargas horizontales.

3.2 Diseño estructural de cimentaciones.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), el diseño de cimentaciones es una actividad en que se cubren las especialidades de Geotecnia y Estructuras. Para un buen diseño es necesario:

- Un costo razonable.
- Definir cuáles son los estratos de suelo más adecuados para soportar las cargas de la estructura, para ello, es necesario el análisis del sistema suelo-cimentación-superestructura y determinar las fuerzas internas y deformaciones provocadas por la interacción. Además de revisar la capacidad

de carga del suelo y de los hundimientos que se pueden producir por las cargas aplicadas.

- Buscar siempre un procedimiento de construcción apropiado.

De lo expuesto por el mismo autor, al momento de definir el sistema de cimentación existen problemas de excavación, bombeo o compactación. Además, de influir de manera sobresaliente la disponibilidad de equipo y la experiencia sobre los distintos tipos de cimentación.

3.2.1 Verificación de la seguridad de las cimentaciones.

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004), para el diseño de toda cimentación, es necesario tomar en cuenta los siguientes estados límites, así mismo los propios a los miembros de la estructura:

a) De falla: este estado se puede presentar debido a las siguientes causas:

1. Flotación.
2. Flujo de plástico local o general de suelo bajo la cimentación.
3. Falla estructural de pilotes, pilas u otros elementos de la cimentación.

En conformidad con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004), al realizar la seguridad de una cimentación ante los estados límite de falla es necesario comparar para cada elemento de la cimentación, y así mismo la capacidad de carga del suelo con las acciones de diseño,

afectando la capacidad de carga neta con un factor de resistencia y las acciones de diseño con sus respectivos factores de carga.

La capacidad de carga del suelo de cimentación se calcula por métodos analíticos o empíricos apoyados en evidencias experimentales o se determinan con pruebas de carga. En caso de que el subsuelo del sitio o en su alrededor existan rellenos suelos, galerías, grietas u otras oquedades, éstos deberán tratarse adecuadamente o en su caso tomarse en cuenta en el análisis de estabilidad de la cimentación.

b) De servicio: este estado se puede presentar debido a los siguientes factores:

1. Movimiento vertical medio, asentamiento o emersión de la cimentación, con respecto al nivel del terreno circundante.
2. Inclinación media de la construcción.
3. Deformación diferencial de la propia estructura y sus vecinas.

Según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004), en cada uno de los movimientos, se deberá considerar los componentes inmediatos bajo carga estática, el accidental, primordialmente por sismo, y el diferido, por consolidación, y la combinación de los tres.

El valor que se espera obtener de cada uno de los movimientos deberá garantizar que no se ocasionarán daños intolerables a la propia cimentación, a la superestructura y a sus instalaciones, a los elementos no estructurales y acabados.

3.3 Clasificación de las cimentaciones.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), la manera más usual de clasificar las cimentaciones es con base en la profundidad de los estratos a los cuales es transmitida la mayor parte de las cargas que provienen de la estructura. Con base en lo anterior, se subdividen en someras y profundas.

- **Cimentaciones someras:** son las que se apoyan en estratos poco profundos los cuales tienen una razonable capacidad de resistir las cargas de la construcción. Dentro de este tipo de cimentación se encuentran las zapatas y las losas de cimentación.
- **Cimentaciones profundas:** se trata de pilotes los cuales son encargados de transmitir su carga por punta o por fricción. Se denominan pilas cuando el tamaño de su sección transversal es de gran tamaño.

Según Gabriel Gallo y colaboradores (2005), las cimentaciones más usuales para viviendas unifamiliares, dúplex, etc., son las de tipos someras, y las exclusivas son: zapatas aisladas, corridas y losas de cimentación, las cuales usualmente están elaboradas de mampostería o concreto reforzado.

3.4 Zapatas.

De acuerdo con Meli Piralla (2004), las zapatas son cimentaciones superficiales las cuales son utilizadas cuando las descargas de la construcción son

relativamente pequeñas y se tiene a poca profundidad un estrato de suelo con la capacidad de carga y rigidez adecuadas para soportar las presiones transferidas por las zapatas sin que se provoquen fallas o hundimientos excesivos.

Los tipos de zapata más comunes son:

- Aislada.
- Corrida.
- Combinada.

A continuación, en la imagen 3.1. Se observan las formas más usuales de zapatas:

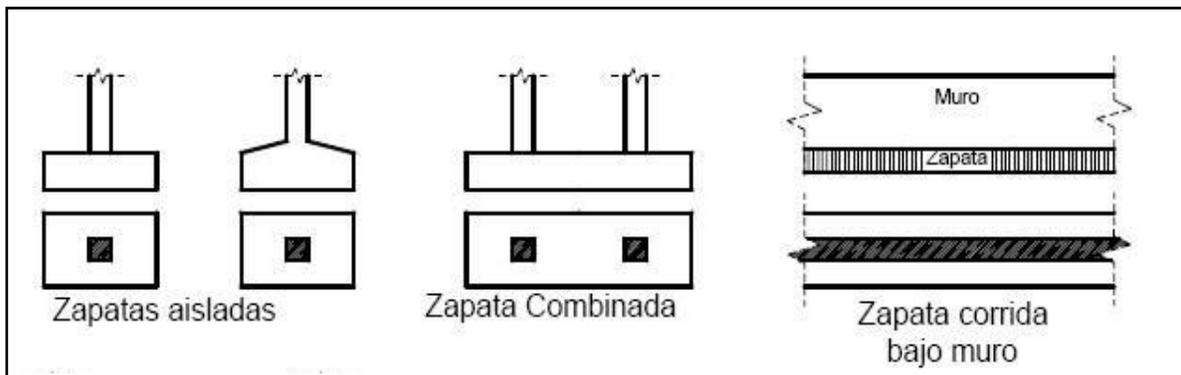


Imagen 3.1. Tipos de zapatas más comunes.

Fuente: <http://arqycivil.blogspot.mx>; (2017).

- Zapata aislada: según Gabriel Gallo y colaboradores (2005), este tipo de cimiento recibe las descargas de la estructura puntualmente, estableciendo

una zapata por columna que conforme la base de la construcción. Estos elementos estructurales, generalmente son cuadradas o rectangulares y raramente circulares. Con base en la página electrónica <http://estructuras.eia.edu.com> (2017), es conveniente que las zapatas aisladas bajo columnas sean cuadradas en planta, puesto que de esa forma los momentos flexionantes son mínimos; se recurrirá a forma rectangular sólo cuando las condiciones del predio impidan extenderse en alguna dirección.

- Zapata corrida: con base en Meli Piralla (2004), estas zapatas están sujetas comúnmente a una descarga uniforme en toda su longitud, por lo cual solo es necesario analizar un tramo de longitud unitaria. Se utilizan para soportar el peso de muros.
- Zapata combinada: este tipo de cimiento de acuerdo con la página electrónica <http://estructuras.eia.edu.com> (2017), soportan más de una columna. Se utilizan cuando se tienen dos columnas muy juntas y al calcular el área necesaria de zapata para reemplazar los esfuerzos admisibles sobre el suelo resulta que sus áreas se traslapan.

3.5 Losas de cimentación.

En conformidad con Gabriel Gallo y colaboradores (2005), a la hora de desplantar una estructura en suelos de baja resistencia y una elevada deformabilidad, además de que las descargas de la construcción sean pequeñas, se opta por una losa de cimentación, lo cual cumple con la función de distribuir el peso

de la estructura en toda el área de la construcción, que a la vez la transmite a las contr trabes. La losa de cimentación se utilizará preferentemente para reducir los asentamientos diferenciales en suelos heterogéneos.

De lo expuesto por el mismo autor, los materiales típicos empleados para la elaboración de las cimentaciones son el concreto reforzado y la mampostería, cuya elección recae en los materiales que predominan en la zona, la profundidad de desplante, la intensidad de las cargas y la capacidad de carga del suelo.

Según la página electrónica <https://estructurasenconcreto.com> (2017), las losas de cimentación, conforman un tipo de cimentación somera que cubre el área bajo la estructura; se utilizan cuando la resistencia del terreno es baja o cuando es necesario limitar en forma muy estricta los asentamientos diferenciales en construcciones particularmente sensibles a éstos.

Los tipos de losa de cimentación más comunes son:

- Losa plana.
- Losa nervada o reticular.
- Losa con muro sótano (cajón de cimentación).

En la imagen 3.2. Se observan los diferentes tipos de losa de cimentación:

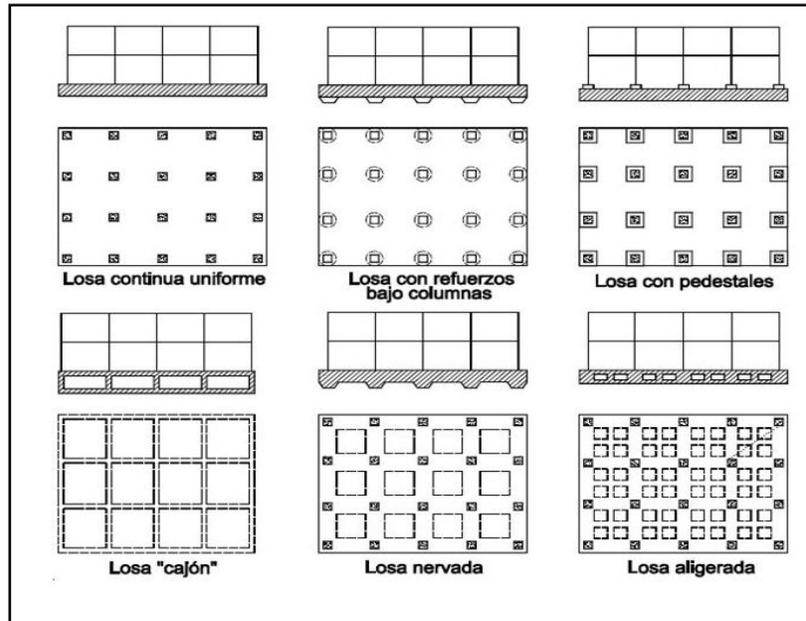


Imagen 3.2. Tipos de losa de cimentación.

Fuente: <http://www.geofun.cl;>(2017).

- a) **Losa plana:** es aquella cimentación que transmite las cargas directamente a las columnas, sin necesidad de colocar vigas. El reglamento considera que pueden ser aligeradas o macizas.

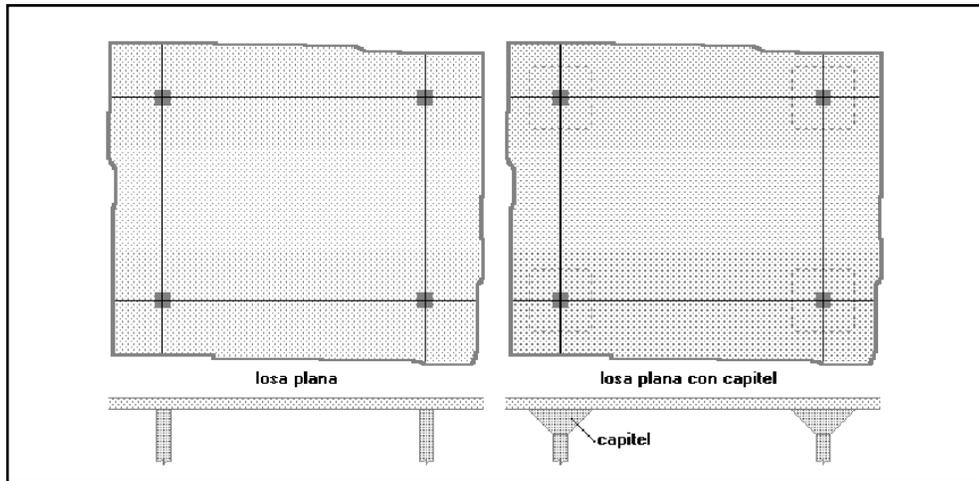


Imagen 3.3. Losas planas.

Fuente: [http://stalineder.blogspot.mx](http://stalineder.blogspot.mx;);(2017).

b) **Losa nervada o reticular:** este tipo de losa se construye para estructuras de cargas desequilibradas.

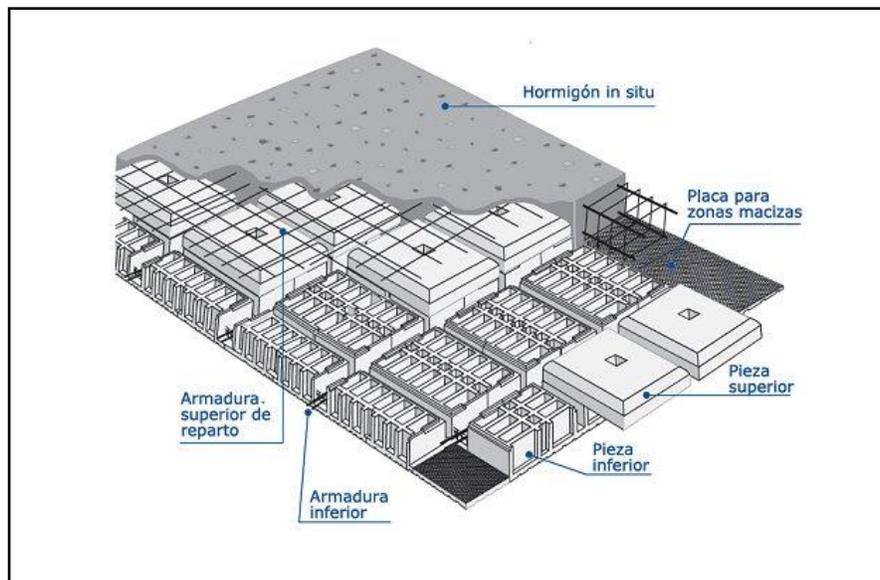


Imagen 3.4. Losa reticular.

Fuente: [http://leosibajablogs.blogspot.mx](http://leosibajablogs.blogspot.mx;);(2017).

c) **Losa con muro sótano (cajón de cimentación):** los sótanos deben ser diseñados para permitir que la subestructura sea usada con varios propósitos como bodegas de almacenaje o estacionamiento subterráneos.

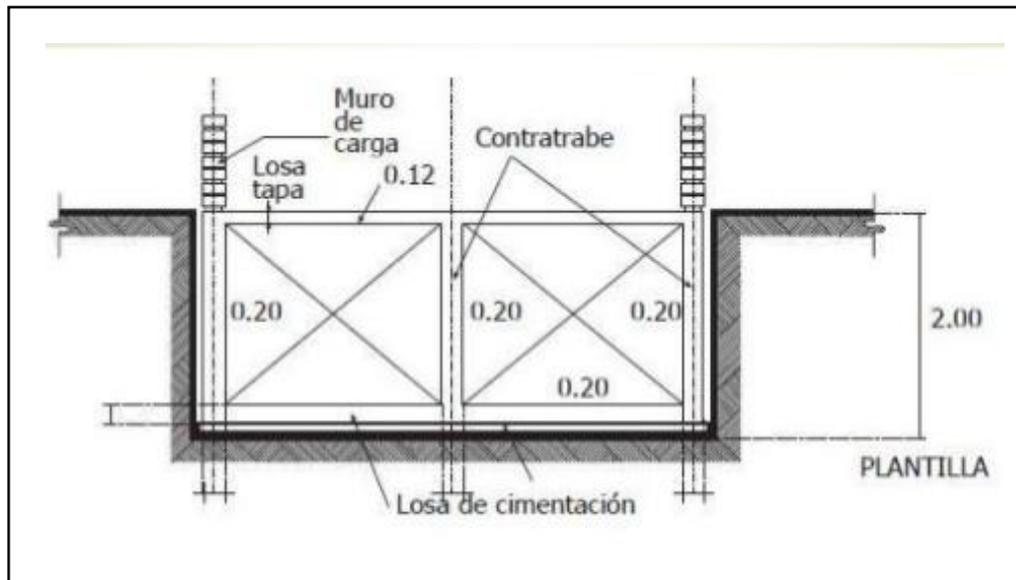


Imagen 3.5. Losa de cajón.

Fuente: <https://es.slideshare.net;>(2017).

CAPÍTULO 4.

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Es este capítulo de presenta la información necesaria para la saber la localización en donde se llevará a cabo el proyecto, además de proporcionar la información necesaria para realizar una buen diseño.

4.1 Generalidades.

Para realizar el análisis y diseño estructural de la vivienda, principalmente se debe hacer una estructuración y el dimensionamiento de los elementos estructurales, para después analizar la estructura en el programa SAP2000, en caso de que, los elementos no cumplan con los criterios de diseño establecidos por RCDF (2004), se deberán proponer otras dimensiones que cumplan con los requerimientos necesarios.

En el caso de la cimentación se diseñará con base en los resultados del estudio de Mecánica de Suelos.

4.1.1 Objetivo.

Analizar y diseñar los elementos estructurales, de una casa habitación de tres niveles la cual estará desplantada sobre arcillas expansivas, ubicada en la localidad de Gabriel Zamora, Michoacán.

4.1.2 Alcance del proyecto.

En esta investigación se da a conocer el procedimiento del análisis y diseño de una casa habitación de tres niveles que se encuentra desplantada sobre arcillas expansivas; por lo cual también se propondrá una cimentación adecuada.

4.2 Resumen ejecutivo.

Para el siguiente proyecto el plano fue proporcionado por el Ingeniero Ricardo Angulo García. El estudio de mecánica de suelo se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Don Vasco.

En este trabajo se analizará la estructura en el programa SAP2000 para posteriormente diseñar los elementos estructurales y finalmente se propondrá una cimentación adecuada para el tipo de suelo y la capacidad de carga que se obtuvo a partir de estudio de mecánica de suelos.

Se realizó la visita al lugar en donde se llevará a cabo el proyecto para verificar que el terreno cumpliera con las dimensiones que solicitaba en plano.

4.3 Entorno geográfico.

4.3.1 Macro y micro localización.

El sitio es localizado al suroeste del Estado, en las coordenadas 19°09' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste, a una altura de 640 metros sobre el nivel del

mar. Limita al norte con Nuevo Parangaricutiro, Uruapan y Taretan, al este con Nuevo Urecho, al sur con Múgica y al oeste con Parácuaro.

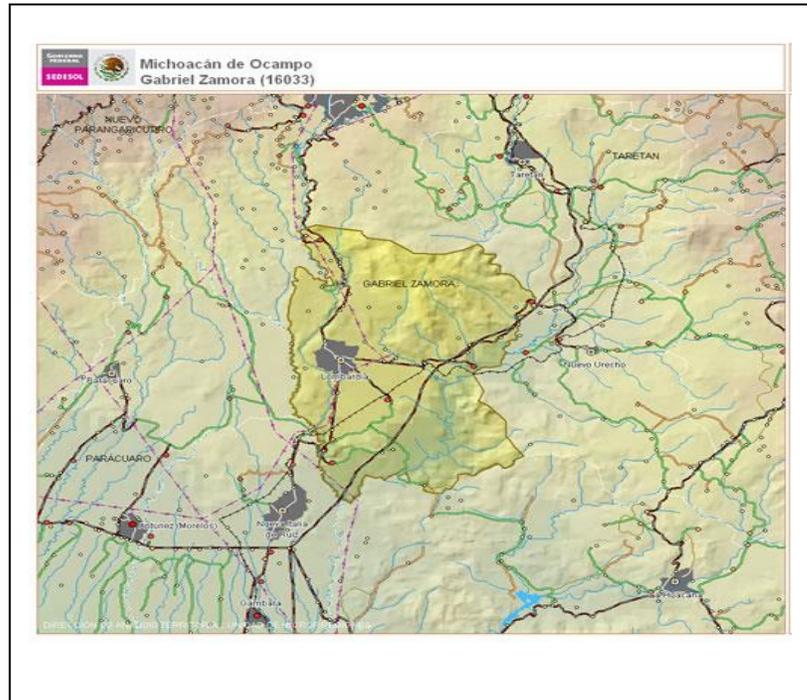


Imagen 4.1. Macro localización del proyecto.

Fuente: <http://www.microrregiones.gob.mx>; (2017).

La zona del proyecto se encuentra ubicada en el municipio de Gabriel Zamora, rumbo a la carretera del Cobano, a dos kilómetros de la zona turística “Las Pintadas”.

4.3.2 Hidrología regional y de la zona en estudio.

La hidrología de la zona se encuentra constituida por los ríos el Marqués, Santa Casilda, Barranca Honda y Tziritzícuaro; arroyos: de la Zorra, Las Pintadas y la Escondida; presa del Cupatitzio.

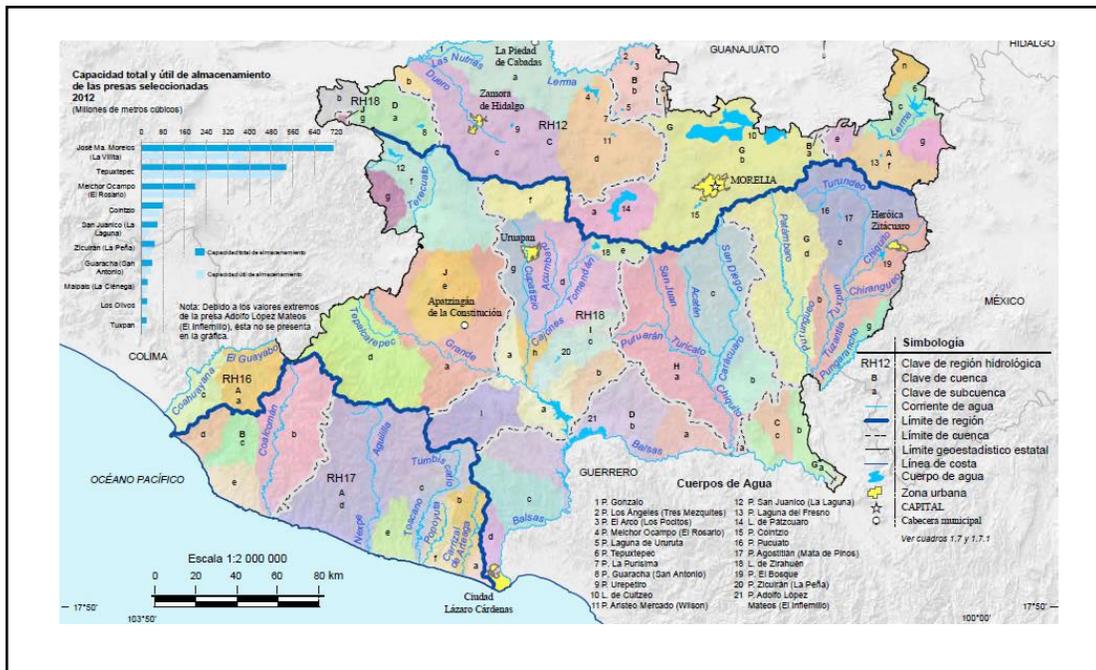


Imagen 4.2. Hidrografía del Estado de Michoacán.

Fuente: <http://www.purepecha.mx>; (2017).

Su clima es tropical con lluvias en verano y al centro, seco estepario con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 744.0 milímetros y temperaturas que oscilan de 17.0 a 35.0 grados centígrados.

Con base en lo siguiente es necesario considerar los tiempos de lluvia y la temperatura, puesto que el agua influye con el comportamiento del suelo fino como lo

son las arcillas las cuales tienden a sufrir cambios volumétricos al estar en contacto con algún líquido.

4.3.3 Uso de suelo regional y de la zona en estudio.

De acuerdo con la página de internet <http://siglo.inafed.gob.mx>, los suelos del municipio de Gabriel Zamora datan de los períodos cenozoico, cuaternario y plioceno; corresponden principalmente a los del tipo de pradera. Su uso es primordialmente ganadero y en menor proporción agrícola y forestal.

En el municipio dominan el bosque tropical deciduo con zapote, plátano, ceiba, parota y tepeguaje; y el tropical espinoso, con teteche, huisache, viejito, cardones y amole. Su fauna la conforman: mapache, zorrillo, tlacuache, coyote, comadreja, armadillo, ardilla, ocelote y paloma.

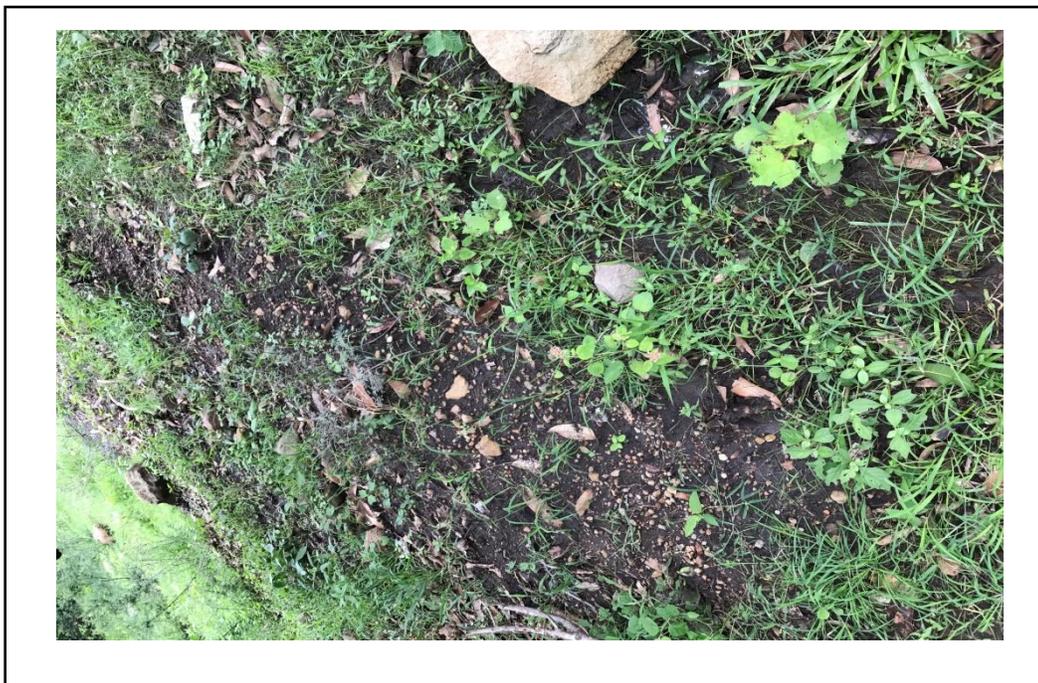
4.4 Informe fotográfico.

A continuación se presenta un informe fotográfico en el que se observa el tipo de terreno.



Fotografía 4.3. Terreno.

Fuente: Propia.



Fotografía 4.4. Tipo de suelo.

Fuente: Propia.

4.4.1 Problemática.

Dentro del terreno se encuentran problemas de estancamiento del agua, ya que a un costado se encuentra una huerta de mango y al momento del riego o lluvias se estanca el agua y en ocasiones se traslada al terreno y puede afectar a la estructura.

A continuación se muestra una fotografía en donde se puede apreciar el problema de estancamiento de agua:



Fotografía 4.5. Problemática de estancamiento de agua.

Fuente: Propia.

4.4.2 Estado físico actual.

Enseguida se muestra el estado en que se encuentra el terreno donde se llevará a cabo el proyecto:



Fotografía 4.6. Problemática de estancamiento de agua.

Fuente: Propia.



Fotografía 4.7. Problemática de estancamiento de agua.

Fuente: Propia.

4.5 Alternativas de solución.

En este tema se abordarán algunas soluciones para la propuesta de una cimentación adecuada para cuando se presenten este tipo de problemas.

4.6 Procesos de análisis.

Para llevar a cabo el diseño de la vivienda se consultó el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF), para establecer los criterios de diseño que se deben cumplir para que la estructura se considere segura para habitar en ella y no sufra fallas que la puedan llevar a un mal funcionamiento o en el peor de los casos el colapso total.

En el análisis de la estructura se utilizó el programa SAP2000 en donde se proporcionarán las dimensiones propuestas para saber si se cumplen los criterios, en caso de que no llegaran a cumplir se propondrán otras dimensiones hasta que lleguen a un límite aceptable.

Para el diseño de la cimentación como anteriormente se comentó, estará basada en los resultados obtenidos del estudio de Mecánica de suelos.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

En este capítulo se aborda el método empleado para elaborar la investigación y recopilación de datos necesarios para realizar la tesis, además se define el enfoque que se utilizó.

5.1. Método empleado.

A la hora de realizar una investigación se efectúa de manera lógica, con resultados coherentes, basados en experimentación y hechos fundamentados, por lo tanto, en la presente tesis para abordar el tema correspondiente se utilizara el método científico.

El método científico, según Tamayo y Tamayo (2010), es un procedimiento el cual se utiliza para descubrir las condiciones que se presentan en sucesos específicos, el cual es caracterizado por ser tentativo, verificables, de razonamiento riguroso y observación empírica.

De acuerdo con lo anterior se puede decir que el método científico es en donde se aplica la lógica a las realidades o hechos observados. Entonces se puede decir que el método científico es una serie de procedimientos en los cuales se plantean problemas y se ponen a prueba las hipótesis.

El método científico tiene como característica rechazar todo aquel procedimiento que tenga como finalidad manipular la realidad.

Con base en Tamayo y Tamayo (2010), el método científico cuenta con cinco etapas para resolver un problema, las cuales son las siguientes:

1. Percepción de una dificultad.
2. Identificación y definición de la dificultad.
3. Soluciones propuestas para los problemas.
4. Deducción de las consecuencias de las soluciones propuestas.
5. Verificación de hipótesis mediante la acción.

5.1.1. Método matemático.

El método matemático es del tipo científico el cual está basado en las estadísticas para expresar relaciones, variables, parámetros, etc. Este método es un sistema físico que se transforma a términos matemáticos para aplicar el cálculo, algebra y otras matemáticas para reducir el comportamiento y hacer predicciones.

Para esta investigación se utilizara el método matemático para encontrar el comportamiento de la estructura por medio de modelos matemáticos para así poder calcular el comportamiento que tendrá dicha construcción.

5.2. Enfoque de la investigación.

Esta investigación está basada en un enfoque cuantitativo, ya que los elementos a utilizar están expresados de forma numérica y se tendrá que utilizar fórmulas matemáticas para el análisis correspondiente a esta investigación.

El “enfoque cualitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (Hernández y cols. 2010:5).

Dicho lo anterior, esta investigación se basó en el enfoque cualitativo ya que se lleva a cabo una serie de pasos que establece dicho proceso, los cuales se mencionan posteriormente:

1. El investigador deberá buscar un problema para realizar el estudio.
2. Para obtener tales resultados el investigador recolecta datos numéricos de los datos, fenómenos o participantes, que estudia y analiza mediante procedimientos estadístico.
3. Elaboración de hipótesis.
4. Recopilación de datos
5. Como la investigación es numérica se debe analizar con un método estadístico.
6. Descartar propuestas contrarias a la investigación.
7. La investigación cuantitativa debe ser lo más subjetiva posible.
8. Los resultados cuantitativos se dan a conocer de las predicciones iniciales.

9. Los estudios cuantitativos siguen una secuencia predecible y deben de tomar en cuenta antes de recolectar la información.

5.2.1. Alcance de la investigación.

Esta investigación cuenta con un alcance descriptivo ya que busca especificar las propiedades y características de una estructura a la cual se someterá a un análisis. Según Hernández y cols. (2010), el alcance descriptivo consiste en describir fenómenos como situaciones o eventos, es decir detallar cómo se comportan, para llevar a cabo se necesita obtener información sobre las variables que se refieren, esto indica que a través de cálculos se puede ver como se relacionan entre sí.

4.3 Diseño de la investigación.

Existen tres tipos de diseño de investigación que son:

1. Experimental: es el procedimiento en donde se manipulan una o más variables para observar los efectos que ocasionan.
2. Cuasi experimental: cuando no se tiene un control efectivo de las variables.
3. No experimental: se trata de estudios donde no varían las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.

Por consiguiente, se puede decir que esta investigación es un diseño experimental ya que cuenta con variables independientes, las cuales causan un efecto sobre la estructura.

5.4 Instrumentas de recopilación de datos.

Para elaborar esta investigación es necesario el uso de diferentes herramientas para así poner un rango de mayor exactitud y confiabilidad en los resultados obtenidos, a continuación se describen dichas herramientas:

- AutoCAD: es un programa que es muy utilizado por ingenieros para la elaboración de planos en dos y tres dimensiones.
- Excel: es ideal para la elaboración de hojas de cálculo.
- SAP2000: es un software que se utiliza para analizar estructura.

5.5 Descripción del proceso de investigación.

La presente investigación se elabora bajo un cierto orden el cual consiste en lo siguiente:

Para poder elaborar la tesis lo primero fue escoger un tema apropiado, posteriormente se elabora el capítulo uno “suelos” en cual se definieron algunos conceptos importantes, además de mencionar las pruebas necesarias para un estudio de suelos.

A continuación, se realizó el capítulo dos en donde se menciona lo que es el diseño estructural, se especifican las normas técnicas complementarias de la Ciudad de México. Posteriormente se realizó un tercer capítulo donde se explica los tipos de cimentación y en consiste cada clasificación.

Después se elaboró la micro y macro localización para ubicar en donde se realizará el proyecto. Y finalmente se presentara un capítulo en donde se expondrán los cálculos necesarios para la realización del diseño de la casa habitación la cual estará desplantada sobre arcillas expansivas en el municipio de Gabriel Zamora, Michoacán.

CAPÍTULO 6

CÁLCULO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados por medio de una memoria de cálculo.

6.1 Memoria de cálculo.

La memoria de cálculo es un documento donde se describen los procedimientos detallando como se realizaron los cálculos, la memoria de cálculo más importante es la memoria de cálculo estructural , en la cual se describen los cálculos y procedimientos que se tienen que llevar a cabo para establecer las secciones de los elementos estructurales, así como también se indica cuáles fueron los criterios con los cuales se calcularon los elementos estructurales, como cargas vivas, cargas muertas, factores de seguridad y los factores sísmicos.

6.2 Estructuración del proyecto.

Para observar la planta arquitectónica del proyecto se debe ver el Anexo B al final del documento.

Descripción de la edificación:

Se analizará una estructura porticada de tres niveles, la cual será destinada para vivienda, ubicada en el municipio de Gabriel Zamora, Michoacán. Los muros de

mampostería se consideran separados de la estructura, además el sistema de techo serán losas macizas de concreto armado.

Conforme al estudio previo de mecánica de suelos, se obtuvieron los siguientes valores: $Df = 2m$, $qu = 5.677t/m^2$, $\gamma_s = 1.6 t/m^3$, por lo que se propone que la cimentación fuese una losa de cimentación.

A continuación se mencionan algunas especificaciones y características de los elementos estructurales:

- Losas: todas las losas serán macizas, el concreto para estas será de $f'c=200$ kg/cm² y su acero de refuerzo será a base de varillas corrugadas del No. 3 o 3/8" con un límite de fluencia $f'y=4200$ kg/cm²; el agregado pétreo tendrá un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$.
- Trabes: estarán elaboradas con concreto $f'c=200$ kg/cm² y acero de refuerzo con un límite de fluencia $f'y=4200$ kg/cm²; el agregado pétreo tendrá un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$.
- Columnas: estarán elaboradas con concreto $f'c=200$ kg/cm² y acero de refuerzo con un límite de fluencia $f'y=4200$ kg/cm²; el agregado pétreo tendrá un tamaño máximo de $\frac{3}{4}$.
- Muros divisorios: se elaboran a base de tabique de barro rojo 7 x 14x 28 cm, juntados con mortero clase I, su acabado final puede variar de acuerdo a su posición dentro del proyecto este podría ser azulejo, mortero o yeso.

- Cimentación: estará elaborada con concreto de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ y acero de refuerzo con un límite de fluencia $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Recubrimiento: medido a partir de la superficie externa de la varilla será 1.5 veces su diámetro pero nunca menos a 2 cm. Cuando se utilicen paquetes de rematar todos los estribos del #3 con un gancho de 10 cm de longitud, doblado con un ángulo exterior no menor a 135° .

6.2.1 Clasificación de la estructura.

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), el edificio es clasificado como una estructura tipo B.

Es importante mencionar que la estructura será construida sobre una zona sísmica tipo C, de acuerdo con el mapa de Regionalización sísmica de la República Mexicana elaborado por Comisión Federal de Electricidad en 2008.

6.2.2 Reglamentos.

Dentro del análisis y diseño estructural es necesario seguir las normas que imponen los requisitos mínimos con base en los cuales se pueda garantizar la seguridad de los ocupantes de una construcción y de la construcción misma. Algunas de estas normas son generales y otras son específicas de acuerdo a los materiales que se empleen. Para realizar el diseño de los elementos estructurales se tomó

como base para cumplir los criterios y coeficientes de seguridad los siguientes reglamentos:

- Normas Técnicas Constructivas del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF).
- El reglamento de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

6.3 Modelado de la estructura.

En esta etapa es donde se idealiza la estructura con base a un modelo teórico fácil de analizar mediante los procedimientos y métodos de análisis estructural. Por ello, es necesario tener las propiedades de los materiales y características geométricas de las secciones.

Expuesto lo anterior se proponen las siguientes dimensiones para los elementos estructurales, cabe mencionar que dichos elementos están elaborados con concreto clase II, $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ y acero de refuerzo con un límite de fluencia $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$:

- Losa maciza con un peralte de 12 cm.
- Columnas de centro (C-2) 45x45 cm.
- Columnas de extremo (C-1) 40x40 cm.
- Trabes (T_1) 40x20 cm.

El modelado de la estructura se llevó a cabo en el software SAP2000v19.2.1.

6.3.1 Modelado en SAP2000.

En las siguientes imágenes se muestran los elementos estructurales de la edificación para facilitar el entendimiento y seguimiento del diseño a presentar.

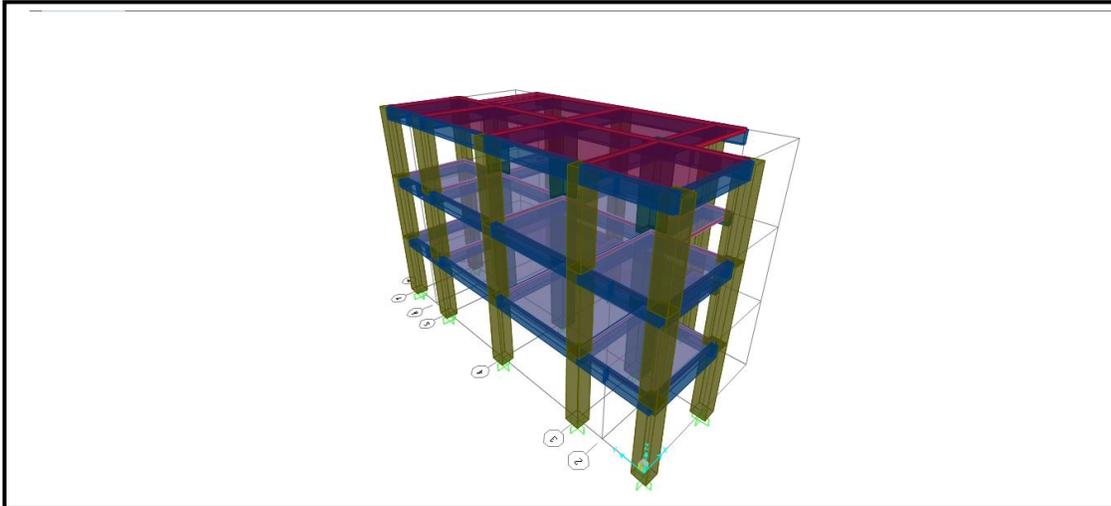


Imagen 6.1. Modelo sin deformación en SAP2000.

Fuente: Propia.

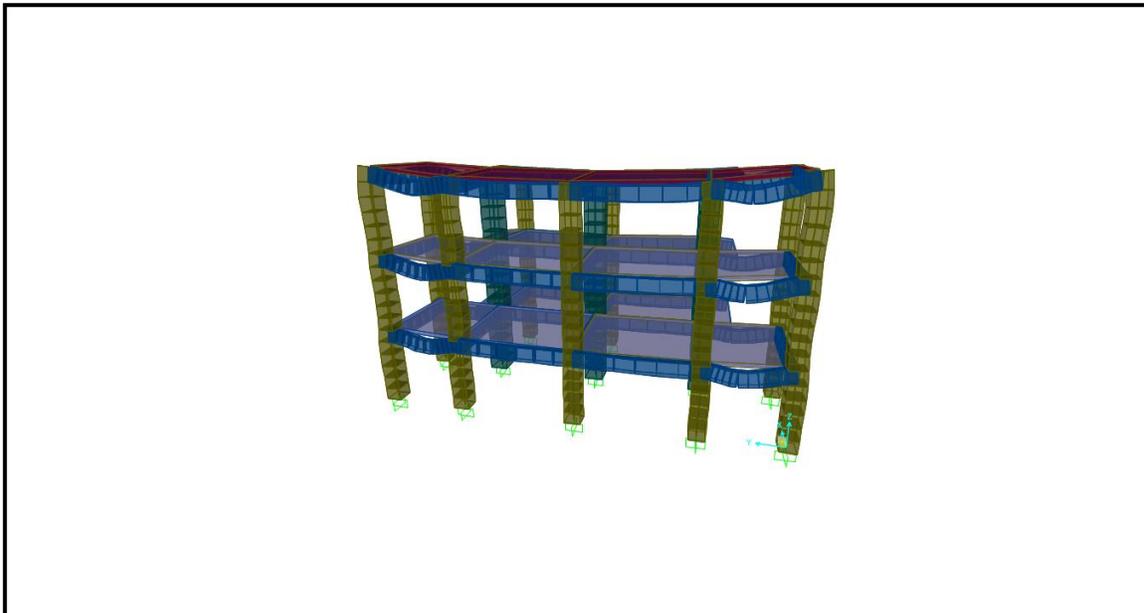


Imagen 6.2. Modelo deformado por Cargas muertas y Cargas vivas accidentales.

Fuente: Propia.

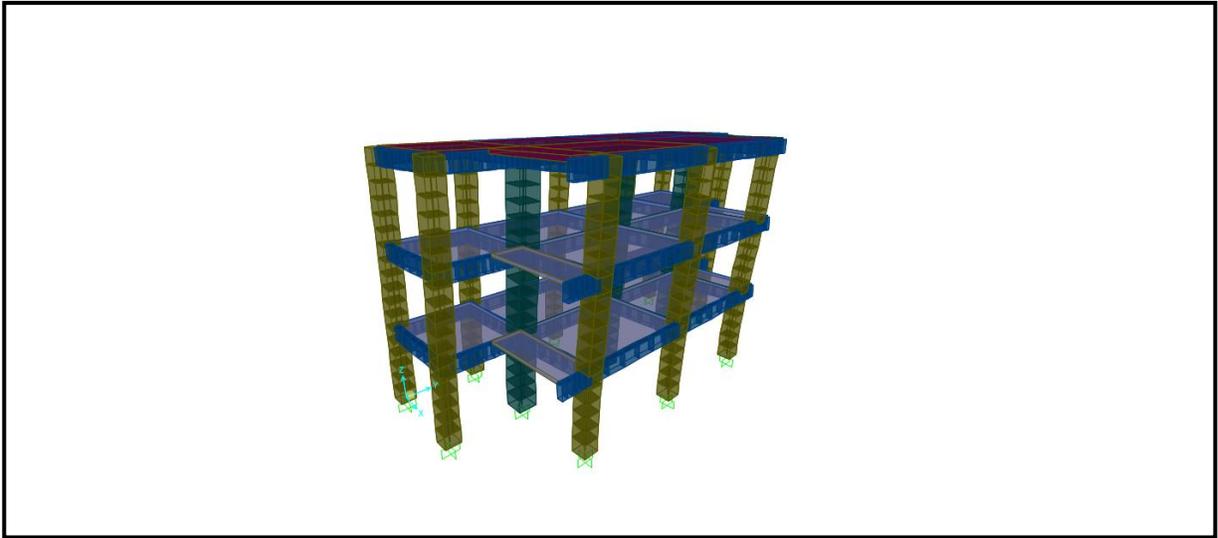


Imagen 6.3. Modelo en SAP2000 deformado por sismo en el eje X.

Fuente: Propia.

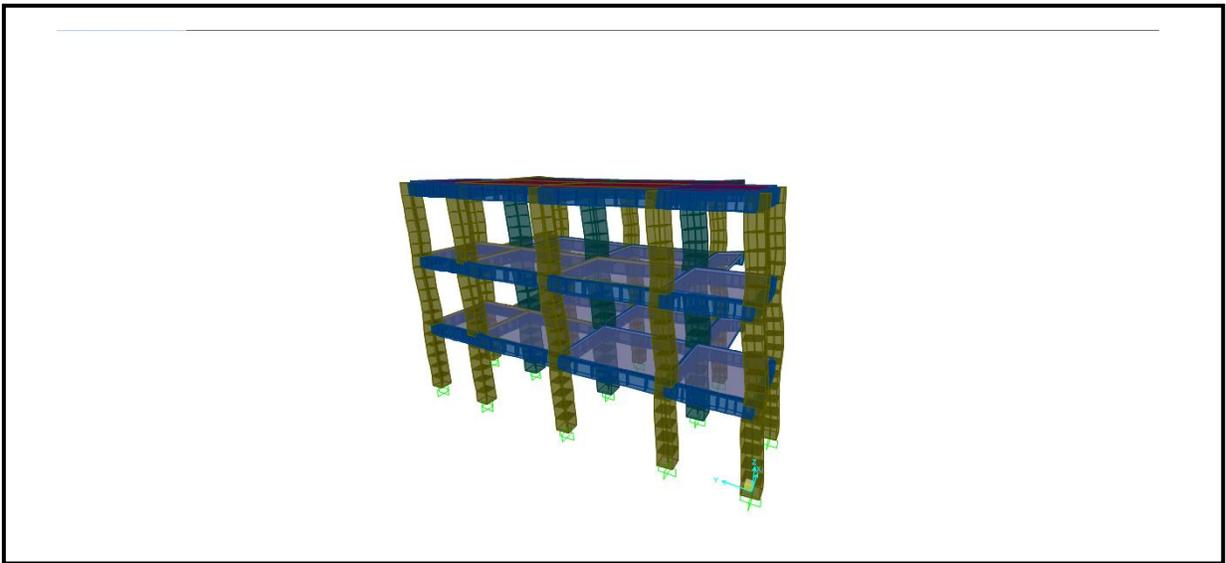


Imagen 6.4. Modelo en SAP2000 deformado por sismo en el eje Y.

Fuente: Propia.

6.4 Análisis de cargas de la estructura.

Para el diseño estructural es necesario estimar las cargas muertas y vivas que pudieran actuar sobre la estructura. Las cargas muertas sobre las losa de entrepiso y azotea, se obtendrán a partir del peso propio de dichos elementos, sumándoles el peso de los recubrimientos y acabados. Para la estimación de las cargas vivas sobre las losas, se utilizará la carga especificada en el reglamento de construcción del Distrito Federal, para este tipo de elementos.

- El diseño de la losa se considera un espesor tentativo de 12 cm.
- El peso de las trabes está dado por el peso volumétrico del material multiplicado por la sección de los elementos. De igual modo se estima el peso de las columnas.
- Para realizar el análisis de cargas para losa de azotea y entrepiso se consultó el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF) la página 135 donde se especifica el peso volumétrico del concreto reforzado y del mortero-cemento-arena, los cuales se toman como 2.4 ton/m³ y 2.1 ton/m³ respectivamente.

6.4.1 Diseño de losas.

Las losas son elementos estructurales que se usan para cubrir superficies de entrepiso o de azotea, se pueden clasificar de manera general de acuerdo con la siguiente expresión:

$$m = \frac{a_1}{a_2}$$

Si $m \leq 0.5$; losa en una dirección.

Si $m \geq 0.5$; en dos direcciones.

Las losas se diseñarán con base a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), por medio de la Tabla 6.1. Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, de la página 431-432.

La losa será maciza, con concreto de clase II, en específico con $f'c = 200$ kg/cm², mientras que el refuerzo será de acero duro grado 42 con un $f_y = 4200$ kg/cm², (varillas corrugadas), de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-407-ONNCCE. Las losas se apoyaran en trabes de concreto, lo que convierte al sistema losa - trabes en un sistema monolítico.

Análisis de cargas

Obteniendo estos valores se podrá determinar las distintas acciones en la losa. En las cargas muertas se consideraron pesos unitarios establecidos en el RCDF. Y en cuanto a las cargas vivas, de acuerdo a las NTC del RCDF se consideró para losas de entrepiso, un valor de 0.15 ton/m^2 y para losa de azotea, un valor de 0.1 ton/m^2

A continuación se observan las tablas obtenidas del análisis de cargas, en donde se puede apreciar las cargas a las que estarán sometidas las losas de entrepiso y azotea:

Losa de Entrepiso

Materia	Espesor (m)	Peso vol. (Ton/m3)	Peso Total (Ton/m2)
Vitropiso			0.02
Mortero-cemento-arena	0.03	2.1	0.063
Losa	0.12	2.4	0.288
Aplanado de Yeso	0.02	1.5	0.03
		Carga Muerta=	0.401
		Carga Viva=	0.15
		Carga Total=	0.551

Tabla 6.1. Análisis de cargas para losas de entrepiso.

Fuente: propia.

Para poder tomar el peso exacto de la losa de azotea fue necesario calcular el peso del tinaco.

Peso propio=	0.027	Ton
Peso del Agua=	1.1	Ton
Peso de la base=	0.044	Ton
Peso Total=	1.171	Ton
Volume=	0.02	M2
Peso de la base=	0.044	Ton
$W_{tinaco} = \frac{Pt}{Atablero}$		
Wtinaco=	0.09783	Ton/M2

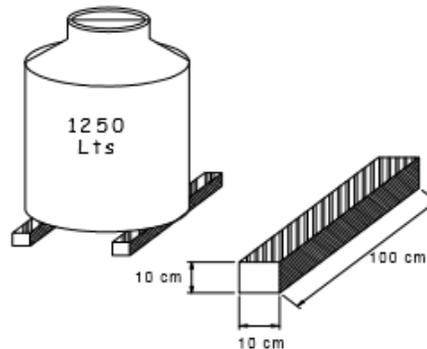


Imagen 6.5. Cálculo del peso del tinaco.

Fuente: propia.

Losa de Azotea

Material	Espesor (m)	Peso vol. (ton/m3)	Peso total (Ton/m2)
Terrazo			0.055
Mortero-cemento-arena	0.03	2.1	0.063
Relleno de tepetate	0.07	1.6	0.112
Losa	0.12	2.4	0.288
Aplanado de Yeso	0.02	1.5	0.03
Carga Muerta=			0.548
Carga Viva=			0.1
Peso del tinaco tab.4			0.0978
Carga Total=			0.746

Tabla 6.2. Análisis de cargas para la losa de azotea.

Fuente: propia.

Peralte mínimo:

De acuerdo a las NTC, el cálculo de las deflexiones puede omitirse si el peralte efectivo de la losa no es menor que el perímetro del tablero dividido entre 250 para concreto clase 1 y 170 para concreto clase 2.

- Concreto clase 1 $\geq 250 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto clase 1 $< 250 \text{ kg/cm}^2$; Pero no $< 200 \text{ kg/cm}^2$

Los lados discontinuos deben incrementarse en un 25 % cuando los apoyos sean monolíticos, y en un 50 % si no lo son. Para otras combinaciones de f_s y w el peralte efectivo mínimo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$0.032\sqrt[4]{f_s W} = \text{factor de corrección del perímetro.}$$

Donde:

$$-f_s = \text{esfuerzo del acero en condiciones de servicio en kg/cm}^2 \text{ (} f_s = 0.6 f_y \text{)}$$

$$-w = \text{carga en condiciones de servicio en kg/m}^2.$$

Factor de corrección del perímetro:

Para realizar el cálculo del factor de corrección se utilizó la carga de azotea puesto que es la más desfavorable:

$$W = 0.746 \text{ Ton/m}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0.032\left(\sqrt[4]{(0.6 * 4200)(746)}\right) = \mathbf{1.185}$$

Revisión de peralte de la losa:

Se hace la revisión del peralte de la losa considerando el factor calculado anteriormente y tomando el perímetro más desfavorable:

$$\text{perímetro desfavorable (tab.II)} = 2(375) + 300 + 1.25(300) = \mathbf{1425 \text{ cm}}$$

$$d_{min} = FR \left(\frac{\text{perímetro}}{170} \right)$$

$$d_{min.} = 1.185 \left(\frac{1425}{170} \right) = \mathbf{9.93 \text{ cm}}$$

Considerando un recubrimiento de 1.5 cm:

$$H = d + r = 9.93 + 1.5 = \mathbf{11.43 \text{ cm}}$$

Para que el peralte propuesto se acepte debe cumplir con una tolerancia la cual no debe exceder el 10%, para obtener la tolerancia se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Tolerancia} = \left(\frac{d_{\text{minimo}}}{d_{\text{propuesto}}} - 1 \right) 100$$

$$\text{Tolerancia} = \left(\frac{11.43}{12} - 1 \right) 100 = \mathbf{4.75\%}$$

Se obtuvo un 4.75% de tolerancia, por lo tanto se acepta el peralte propuesto.

Armado de la losa.

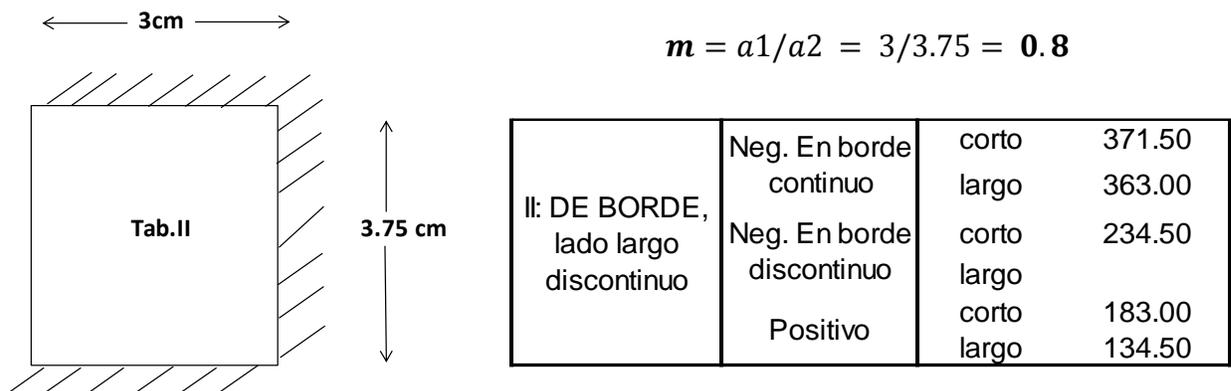
Por cuestiones prácticas se consideró el tablero más desfavorable y de acuerdo con RCDF se realiza lo siguiente:

- ✓ Clasificación del tablero:

Con base en la Tabla 6.1. (Coeficiente de momentos flexionantes para tableros rectangulares) del RCDF, el tablero II se clasifica como un tablero de Borde con un lado largo discontinuo.

- ✓ Obtención de los coeficientes:

Los coeficientes se obtienen de la tabla 6.1. Del RCDF, en caso de que no coincida con algún valor dentro de la tabla, se podrá interpolar linealmente entre los valores correspondientes.



Momento de servicio:

$$M_{SERV.} = coef. \times 10^{-4} (w)(a_1)^2$$

$$M_{SERV.} = 371.5 \times 10^{-4} (0.746) (3.75)^2 = \mathbf{0.3897 \text{ T.m/faja 1m}}$$

$$M_{SERV.} = 363 \times 10^{-4} (0.746) (3.75)^2 = \mathbf{0.3808 \text{ T.m/faja 1m}}$$

$$M_{SERV.} = 234.5 \times 10^{-4} (0.746) (3.75)^2 = \mathbf{0.2460 \text{ T.m/faja 1m}}$$

$$M_{SERV.} = 183 \times 10^{-4} (0.746) (3.75)^2 = \mathbf{0.1919 \text{ T.m/faja 1m}}$$

$$M_{SERV.} = 134.5 \times 10^{-4} (0.746) (3.75)^2 = \mathbf{0.14109 \text{ T.m/faja 1m}}$$

Momento último:

Por cuestiones prácticas se utilizará el momento de servicio más desfavorable para el cálculo del momento último:

$$M_u = 1.4(M_{SERV.})$$

$$M_u = 1.4(0.3897) = \mathbf{0.54558}$$

Porcentaje de acero:

Para obtener el acero de refuerzo necesario para resistir la flexión, se debe calcular los porcentajes de acero: mínimo y necesario, con las siguientes ecuaciones:

- Porcentaje de acero mínimo:

$$\rho_{\text{mín.}} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0.7\sqrt{200}}{4200} = 0.002357$$

- Porcentaje de acero necesario:

$$\rho_{\text{necesario}} = \frac{f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{F_R b d^2 f'_c}} \right] = \frac{136}{4200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(0.54558 \times 10^5)}{0.9 * 100 * 10^2 * 136}} \right] = 0.00134$$

Se debe verificar si el acero necesario fluye, es decir, es el indicado, para ello se debe revisar que:

$$\rho_{\text{mín.}} > \rho_{\text{necesario}} < \rho_{\text{máx}}$$

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.002357 > \rho_{\text{necesario}} = 0.00134 < \rho_b = 0.015238$$

En este caso, no se cumple toda la condición, por lo tanto:

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.002357$$

Área de acero necesario:

$$A_s = \rho b d = 0.002357 * 100 * 10.5 = 2.475 \text{ cm}^2$$

Proponiendo emplear varilla del # 4 con área nominal ($a_o=1.27\text{cm}^2$), se obtiene el número de varillas necesarias con la expresión:

$$N = \frac{A_s}{a_o} = \frac{2.475}{1.27} = 1.95 \text{ varillas}$$

Por lo tanto, son necesarias:

2 varillas del # 4 ($a_o=1.27 \text{ cm}^2$)

Separación entre varillas:

$$S = \frac{100(a_o)}{A_s}$$

Suponiendo Varilla #4 con un área nominal de 1.27 cm^2

$$A_s = \rho b d = 0.002357 * 100 * 10.5 = 2.475$$

$$S = \frac{100(1.27)}{2.475} = 51.31$$

$$S_{max} = \begin{cases} 3H = 3(12) = \mathbf{36cm} \\ \mathbf{30cm} \end{cases}$$

De los valores de la separación que se obtuvieron, se debe optar por el valor más chico o el más razonable, considerando que las varillas no pueden quedar muy juntas o muy separadas por cuestiones prácticas.

2 varillas del # 4 ($a_o=1.27 \text{ cm}^2$) @ 30cm C a C.

6.5 Análisis estructural.

En este apartado se determina la respuesta de la estructura al ser sometida a diferentes acciones. El análisis estructural se realizó en el software SAP 2000 versión 19.2.1. Los valores de carga muerta se calcularon anteriormente, los cuales son: $W_{entrepiso} = 0.401 \text{ Ton/m}^2$ y $W_{azotea} = 0.548 \text{ Ton/m}^2$. En cuanto a la carga viva y accidental se obtuvieron del Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF). A continuación se muestran los diagramas obtenidos:

➤ Fuerza axial:

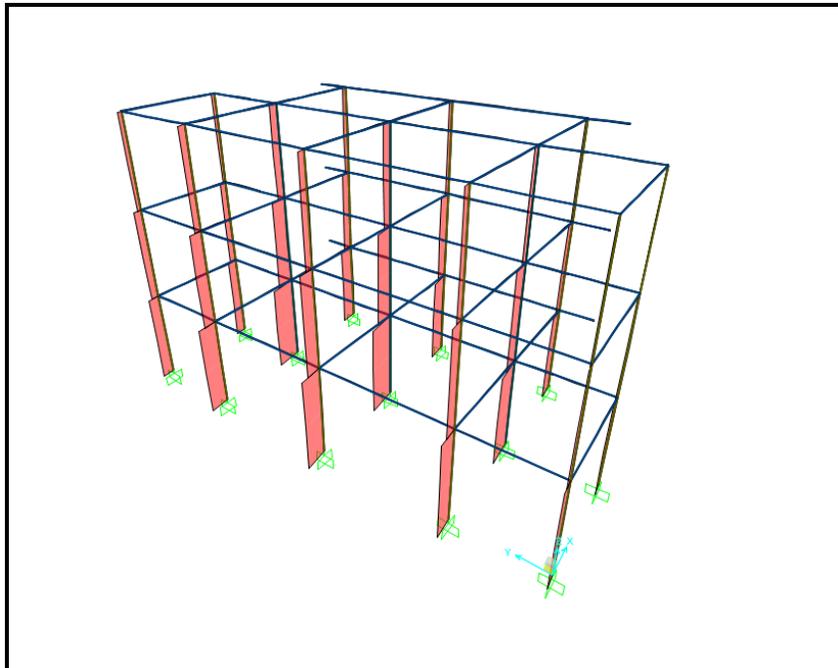


Imagen 6.6. Diagramas de fuerza axial obtenidos por la combinación de carga muerta más carga viva accidental.

Fuente: SAP2000.

➤ **Momento en el eje X:**

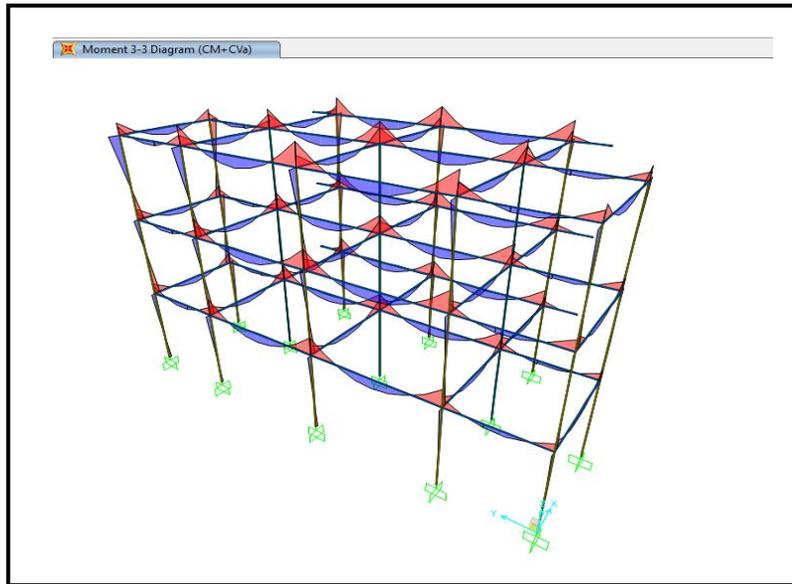


Imagen 6.7. Diagramas de fuerza axial obtenidos por la combinación de carga muerta más carga viva accidental.

Fuente: SAP2000.

➤ **Momento en Y:**

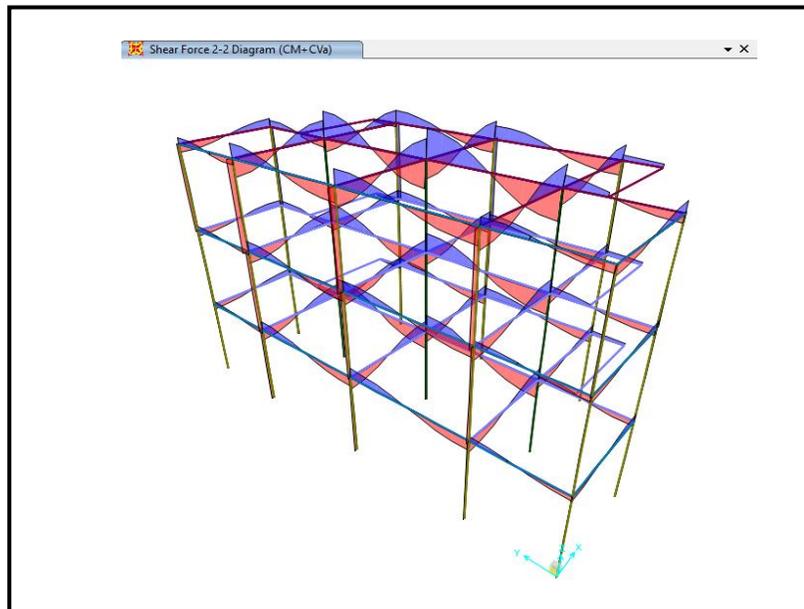


Imagen 6.8. Diagramas de fuerza axial obtenidos por la combinación de carga muerta más carga viva accidental.

Fuente: SAP2000.

6.6 Diseño de traveses.

Las traveses se diseñarán con base en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), por medio del criterio de resistencia última y por cortante, tomando como base los valores del análisis realizado en SAP, con concreto de clase II, en específico con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, mientras que el refuerzo será de acero duro grado 42 con un $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$, (varillas corrugadas), de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-407-ONNCCE. Las traveses serán rectangulares y se diseñará una sola sección de traveses (T_1).

Los valores necesarios para hacer el diseño de las traveses se tomarán de los resultados otorgados por el software SAP2000, en donde previamente se tuvo el cuidado de que cada elemento trabajará correctamente para evitar fallas e inseguridad en la estructura.

➤ Diseño Trabe:

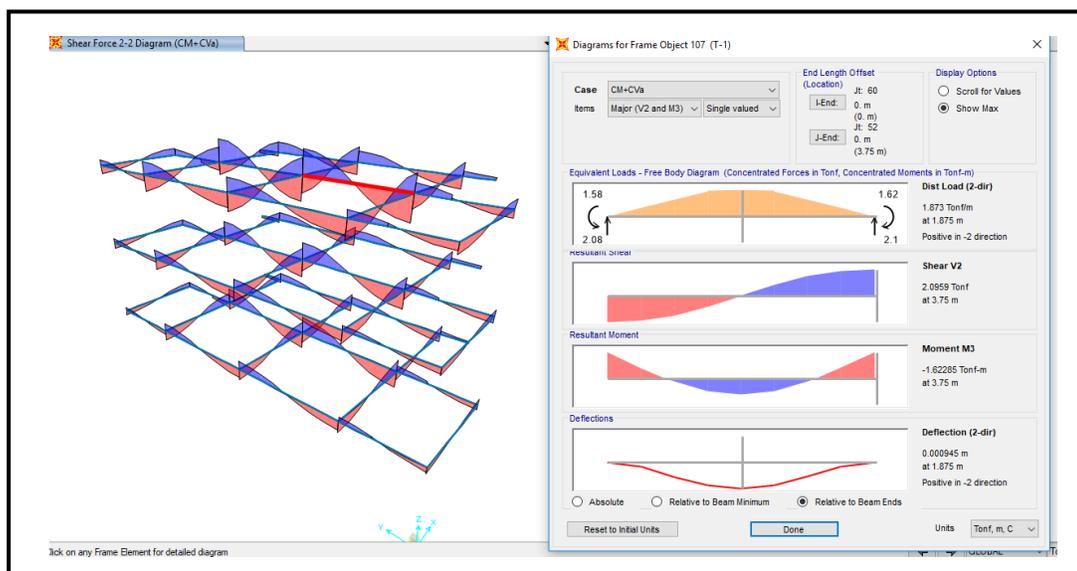


Imagen 6.9. Diagrama correspondiente a la trabe más desfavorable.

Fuente: SAP2000.

Una vez obtenidos los valores de cortante y momento actuante con ayuda de SAP2000, se determinan las dimensiones de la trabe para realizar las operaciones necesarias en la obtención de las especificaciones para el acero de refuerzo.

El peralte de la trabe debe estar entre los valores otorgados por la división del claro de la trabe entre 10 y entre 12:

$$\frac{\text{Claro}}{12} < d < \frac{\text{Claro}}{10}$$

En el caso de la trabe (T_1), el peralte de encuentra entre los valores:

$$\frac{375\text{cm}}{12} = 31\text{cm} \quad \text{y} \quad \frac{375\text{cm}}{10} = 37.5\text{cm}$$

Tomando a criterio un valor para el peralte de 0.35 metros con el fin de que el peralte efectivo con los 5 centímetros de recubrimiento sea de 40 centímetros. Por otro lado, la base se determina a criterio cuidando que la siguiente relación se cumpla:

$$2 \leq \frac{d}{b} \leq 5 \quad \frac{35}{15} = 2.33 \quad \therefore \text{Si se cumple la condición}$$

La base de la trabe es de 0.15 metros. Contando con estos datos, se procede al diseño por flexión según el criterio de resistencia última.

Constantes de diseño:

Datos:

$$M(+) = 1.623 \text{ ton.m} \quad f'c = 200 \text{ kg/cm}^2 \quad Fs = 1.1 \text{ (sismo)} \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$M(-) = 1.585 \text{ ton.m} \quad f''c = 136 \text{ kg/cm}^2 \quad FRv = 0.8 \quad H = 40 \text{ cm}$$

$$V(+) = 2.096 \text{ ton} \quad f * c = 160 \text{ kg/cm}^2 \quad FRm = 0.9 \quad d = 35 \text{ cm}$$

$$V(-) = 2.08 \text{ ton} \quad fy = 4200 \text{ kg/cm}^2 \quad Mu(+) = 1.785 \text{ Ton.m} \quad recub. = 5 \text{ cm}$$

Porcentaje de acero.

$$Mu(-) = 1.744 \text{ Ton.m}$$

Para obtener el acero de refuerzo necesario para resistir la flexión, se debe calcular los porcentajes de acero: balanceado, mínimo y necesario, con las siguientes ecuaciones:

- Porcentaje de acero balanceado:

$$\rho_b = \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{4800}{6000 + f_y} = \frac{136}{4200} * \frac{4800}{6000 + 4200} = 0.015238$$

- Porcentaje de acero mínimo:

$$\rho_{\min.} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0.7\sqrt{200}}{4200} = 0.002357$$

Obteniendo el acero de refuerzo para los efectos del momento con sentido positivo, se realizan los siguientes cálculos:

- Porcentaje de acero necesario:

$$\rho_{necesario} = \frac{f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{F_R b d^2 f'_c}} \right] = \frac{136}{4200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(178500)}{0.9 * 20 * 35^2 * 136}} \right] = 0.0019885$$

Se debe verificar si el acero necesario fluye, es decir, es el indicado, para ello se debe revisar que:

$$\rho_{\text{mín.}} > \rho_{\text{necesario}} < \rho_{\text{máx}}$$

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.002357 > \rho_{\text{necesario}} = 0.0019885 < \rho_b = 0.015238$$

En este caso, se cumple toda la condición, por lo tanto:

$$\rho_{\text{necesario}} = 0.0019885$$

En seguida se debe calcular el área de acero, de la siguiente manera:

Área de acero necesario:

$$A_s = \rho b d = 0.0019885 * 20 * 35 = 1.392 \text{ cm}^2$$

Proponiendo emplear varilla del # 4 con área nominal ($a_o=1.27\text{cm}^2$), se obtiene el número de varillas necesarias con la expresión:

$$N = \frac{A_s}{a_o} = \frac{1.392}{1.27} = 1.09 \text{ varillas}$$

Por cuestiones prácticas de la realidad, es necesario redondear dicho valor, siempre hacia un valor más alto para evitar quitarle una parte del refuerzo, así que se tiene finalmente que son necesarias:

2 varillas del # 4 ($a_o=1.27\text{cm}^2$) para el momento positivo.

Para obtener el acero de refuerzo para los efectos del momento con sentido negativo, se realizan los siguientes cálculos:

- Porcentaje de acero necesario:

$$\rho_{necesario} = \frac{f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{F_R b d^2 f'_c}} \right] = \frac{136}{4200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(174350)}{0.9 * 20 * 35^2 * 136}} \right] = 0.002889$$

Se debe verificar si el acero necesario fluye, es decir, es el indicado, para ello se debe revisar que:

$$\rho_{mín.} > \rho_{necesario} < \rho_{máx.}$$

$$\rho_{mín.} = 0.002357 < \rho_{necesario} = 0.002889 < \rho_b = 0.015238$$

En este caso, no se cumple toda la condición, por lo tanto:

$$\rho_{mín} = 0.002357$$

En seguida se debe calcular el área de acero, de la siguiente manera:

Área de acero necesario:

$$A_s = \rho b d = 0.002357 * 20 * 35 = 1.65 \text{ cm}^2$$

Proponiendo emplear varilla del # 4 con área nominal ($a_o=1.27\text{cm}^2$), se obtiene el número de varillas necesarias con la expresión:

$$N = \frac{A_s}{a_o} = \frac{1.65}{1.27} = 1.30 \text{ varillas}$$

Como anteriormente se mencionó por cuestiones prácticas de la realidad, es necesario redondear dicho valor, siempre hacia un valor más alto para evitar quitarle una parte del refuerzo, así que se tiene finalmente que son necesarias:

2 varillas del # 4 ($a_o=1.27\text{cm}^2$) para el momento negativo.

Para realizar el diseño de la trabe (T1) por cortante, se consideró el criterio de resistencia última.

Diseño por cortante para cortante positivo de la trabe:

Para realizar el diseño el acero de refuerzo transversal, se debe calcular en primer lugar, la fuerza cortante de diseño:

$$V_u = V * F_C$$

Donde: V= Fuerza cortante actuante.

F_c = Factor de carga

$$V_u = 2.096 * 1.1 = 2.306 \text{ Ton}$$

En seguida se procede a calcular la fuerza cortante que resiste el concreto:

$$VCR = \begin{cases} FRbd(0.20 + 20\rho)\sqrt{f^*} & \text{si } \rho < 0.015 \\ 0.5FRbd\sqrt{f^*} & \text{si } \rho > 0.015 \end{cases}$$

Se tomarán los datos del acero de refuerzo obtenido del momento negativo:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2(0.71)}{20(35)} = 0.0020285$$

Como $\rho < 0.015$ se utilizará la siguiente fórmula para calcular el VCR.

$$\mathbf{FRbd(0.20 + 20\rho)\sqrt{f^*c} \text{ si } \rho < 0.015}$$

Sustituyendo valores:

$$\text{VCR} = 0.8(20)(35)(0.20 + 20(0.0020285))\sqrt{160} = 1704.078\text{Kg}$$

$$\mathbf{\text{VCR} = 1704.078 \text{ Kg} = 1.704\text{Ton.}}$$

En resultados experimentales se ha demostrado también que la fuerza cortante que toma el concreto (VCR) se ve reducido conforme aumenta el peralte de la sección y la relación peralte-ancho. Considerando lo anterior, el RCDF especifica lo siguiente:

Si $h > 70 \text{ cm}$ se reduce VCR en 30%

Si $\frac{h}{b} > 6$ se reduce VCR en 30%

De acuerdo con lo anterior:

$35 < 70\text{cm} \therefore$ no se reduce el 30%

$\frac{35}{20} = 1.75 < 6 \therefore$ no se reduce el 30%

En la obtención de la separación de los estribos, se debe obtener el valor del cortante último máximo ($V_{um\acute{a}x}$) para revisar que el cortante V_u no sea mayor a este:

$$Vu_{max} = 2.5F_Rbd\sqrt{f^*c} = 2.5(0.8)(20)(35)\sqrt{160} = 17,708.755 \text{ kg}$$

$$V_u = 2306 \text{ kg} < V_{um\acute{a}x} = 17,708.755 \text{ kg}$$

Tambi3n se debe revisar que cuando se cumple que: $V_u < V_{CR}$ se deber3n colocar estribos del #2 @ $d/2$ hasta $1/4$ del claro de la uni3n.

De lo contrario, cuando: $V_u > V_{CR}$ la separaci3n de los estribos se calcular3 con:

$$V_u = 2,306 \text{ kg} > V_{CR} = 1349.407 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{F_R A_v F_y d}{V_u - V_{CR}} \leq \frac{F_R A_v F_y}{3.5b}$$

Una vez que se cumpli3 la condici3n anterior, se debe proceder al c3lculo de la separaci3n m3xima de los estribos, con las siguientes condiciones:

$$Vu \leq 1.5F_Rbd\sqrt{f^*c} \longrightarrow S_{max} = 0.5 d$$

$$Vu > 1.5F_Rbd\sqrt{f^*c} \longrightarrow S_{max} = 0.25 d$$

$$1.5F_Rbd\sqrt{f^*c} = 1.5(0.8)(20)(35)\sqrt{160} = 10,625.25 \text{ kg}$$

$$V_u = 2,306 \text{ kg} < 10,625.25 \text{ kg}$$

As3 que la separaci3n m3xima de los estribos es:

$$S_{max} = 0.5 d = 0.5(35) = 17.5 \text{ cm}$$

Se debe calcular el valor de la separación necesaria para determinar cuál de éstas dos es la más apropiada.

Separación de los estribos proponiendo usar varilla del # 2 en dos ramas.

$$A_v = (2)(0.34) = 0.64 \text{ cm}^2$$

Separación necesaria:

$$S = \frac{F_R A_v F_y}{3.5b} = \frac{(0.8)(0.64)(4200)}{3.5(15)} = 40.96 \text{ cm}$$

$$S = \frac{F_R A_v F_y d}{V_u - V_{CR}} = \frac{(0.8)(0.64)(4200)(35)}{2,306 - 1349.407} = 78.68 \text{ cm}$$

De los valores de la separación que se obtuvieron, de debe elegir el valor más pequeño o el más razonable, considerando que las varillas no pueden quedar muy juntas o muy separadas por cuestiones prácticas; y de nuevo, es necesario redondear el valor de la separación, siempre hacia un valor más pequeño y que finalmente quede en múltiplos de 5 para facilitar el proceso constructivo y evitar posibles errores.

Así que como valor final de la separación queda:

Estribos con varilla del # 2 ($a_o=0.34 \text{ cm}^2$) en dos ramas @ 15 cm c.a.c. para el cortante positivo.

Diseño por cortante para cortante negativo de la trabe:

Para realizar el diseño el acero de refuerzo transversal, se debe calcular en primer lugar, la fuerza cortante de diseño:

$$V_u = V * F_C$$

Donde: V= Fuerza cortante actuante.

F_c= Factor de carga

$$V_u = 2.08 * 1.1 = 2.29 \text{ Ton}$$

En seguida se procede a calcular la fuerza cortante que resiste el concreto:

$$VCR = \begin{cases} FRbd(0.20 + 20\rho)\sqrt{f^*} & \text{si } \rho < 0.015 \\ 0.5FRbd\sqrt{f^*} & \text{si } \rho > 0.015 \end{cases}$$

Se tomarán los datos del acero de refuerzo obtenido del momento positivo:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2(0.71)}{20(35)} = 0.00202857$$

Como $\rho < 0.015$ se utilizará la siguiente fórmula para calcular el VCR.

$$FRbd(0.20 + 20\rho)\sqrt{f^*c} \text{ si } \rho < 0.015$$

Sustituyendo valores:

$$VCR = 0.8(20)(35)(0.20 + 20(0.002028)\sqrt{160}) = 1704.007 \text{ Kg}$$

$$\mathbf{VCR = 1704.077 \text{ Kg} = 1.704 \text{ Ton.}}$$

En resultados experimentales se ha demostrado también que la fuerza cortante que toma el concreto (VCR) se ve reducido conforme aumenta el peralte de la sección y la relación peralte-ancho. Considerando lo anterior, el RCDF especifica lo siguiente:

Si $h > 70 \text{ cm}$ se reduce VCR en 30%

Si $\frac{h}{b} > 6$ se reduce VCR en 30%

De acuerdo con lo anterior:

$35 < 70 \text{ cm} \therefore$ no se reduce el 30%

$\frac{35}{15} = 2.33 < 6 \therefore$ no se reduce el 30%

En la obtención de la separación de los estribos, se debe obtener el valor del cortante último máximo ($V_{um\acute{a}x}$) para revisar que el cortante V_u no sea mayor a este:

$$Vu_{max} = 2.5F_Rbd\sqrt{f^*c} = 2.5(0.8)(20)(35)\sqrt{160} = 17708.755 \text{ kg}$$

$$V_u = 2,290 \text{ kg} < V_{um\acute{a}x.} = 17,708.755 \text{ kg}$$

También se debe revisar que cuando se cumple que: $V_u < V_{CR}$ se deberán colocar estribos del #2 @ $d/2$ hasta $1/4$ del claro de la unión.

De lo contrario, cuando: $V_u > V_{CR}$ la separación de los estribos se calculará con:

$$V_u = 2,290 \text{ kg} > V_{CR} = 1,349.407 \text{ Kg}$$

$$S = \frac{F_R A_v F_y d}{V_u - V_{CR}} \leq \frac{F_R A_v F_y}{3.5b}$$

Una vez que se cumplió la condición anterior, se debe proceder al cálculo de la separación máxima de los estribos, con las siguientes condiciones:

$$V_u \leq 1.5 F_R b d \sqrt{f^* c} \longrightarrow S_{max} = 0.5 d$$

$$V_u > 1.5 F_R b d \sqrt{f^* c} \longrightarrow S_{max} = 0.25 d$$

$$1.5 F_R b d \sqrt{f^* c} = 1.5(0.8)(20)(35)\sqrt{160} = 10,625.252 \text{ kg}$$

$$V_u = 2,290 \text{ kg} < 10,625.252 \text{ kg}$$

Así que la separación máxima de los estribos es:

$$S_{max} = 0.5 d = 0.5(35) = 17.5 \text{ cm}$$

Se debe calcular el valor de la separación necesaria para determinar cuál de éstas dos es la más apropiada.

Separación de los estribos proponiendo usar varilla del # 2 en dos ramas.

$$A_v = (2)(0.32) = 0.64 \text{ cm}^2$$

Separación necesaria:

$$S = \frac{F_R A_v F_y}{3.5b} = \frac{(0.8)(0.64)(4200)}{3.5(20)} = 30.72 \text{ cm}$$

$$S = \frac{F_R A_v F_y d}{V_u - V_{CR}} = \frac{(0.8)(0.64)(4200)(35)}{2,290 - 1349.407} = 80.02 \text{ cm}$$

De los resultados de la separación que se tuvieron, se debe optar por el valor más pequeño o el más razonable, considerando que las varillas no pueden quedar muy juntas o muy separadas por cuestiones prácticas.

Es necesario redondear el valor de la separación, siempre hacia un valor más pequeño y que finalmente quede en múltiplos de 5 para facilitar el proceso constructivo y evitar posibles errores.

Así que como valor final de la separación queda:

Estribos con varilla del # 2 ($a_o=0.32 \text{ cm}^2$) en dos ramas @ 15 cm c.a.c. para el cortante negativo.

6.7 Diseño de columnas.

Las columnas se diseñaron con base en los datos emitidos en el análisis realizado en SAP2000, con concreto de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, mientras que el refuerzo será de acero grado 42 con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Los diagramas que otorgo el software SAP2000 son los siguientes:

En general:

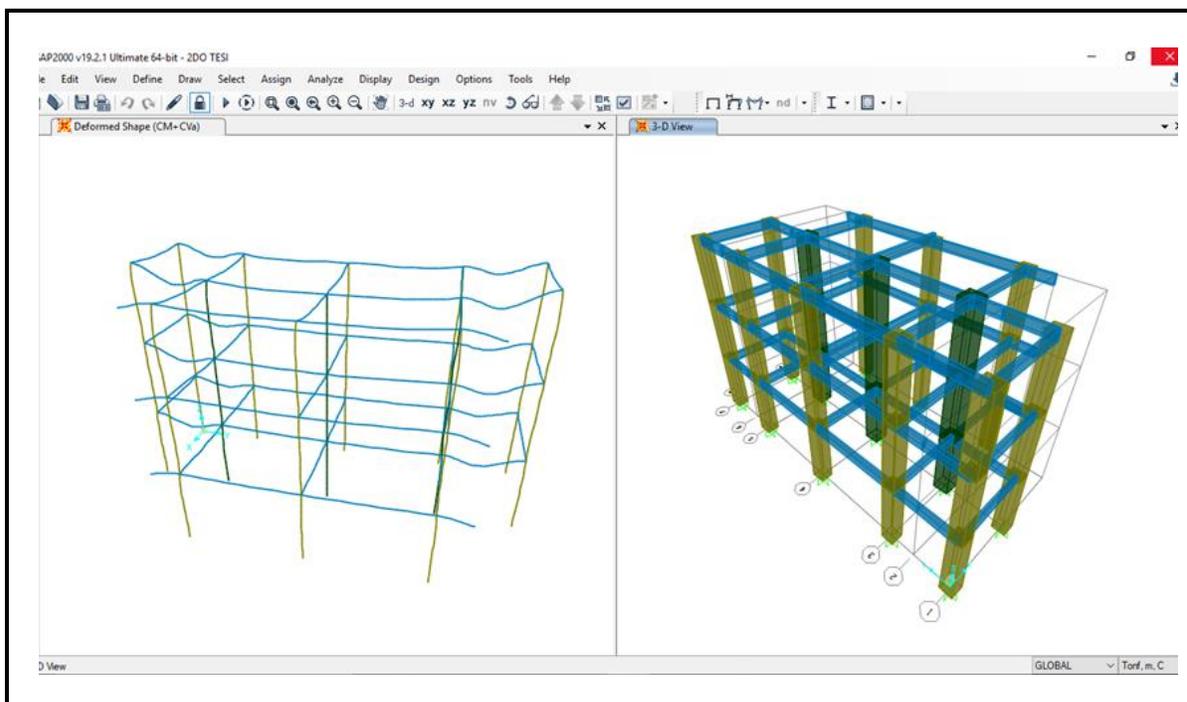


Imagen 6.11. Modelo deformado por acción de las cargas muerta y carga viva accidental.

Fuente: SAP2000.

Diseño de la columna más desfavorable en el extremo:

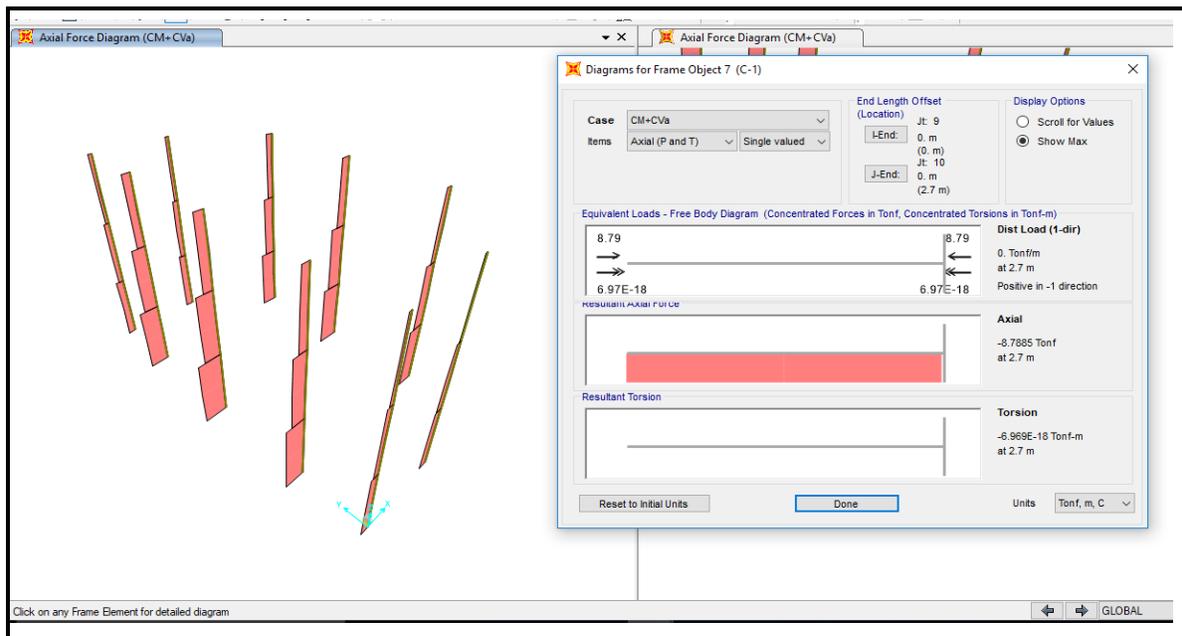


Imagen 6.12. Diagramas de fuerza axial correspondientes a la columna 1.

Fuente: SAP2000.

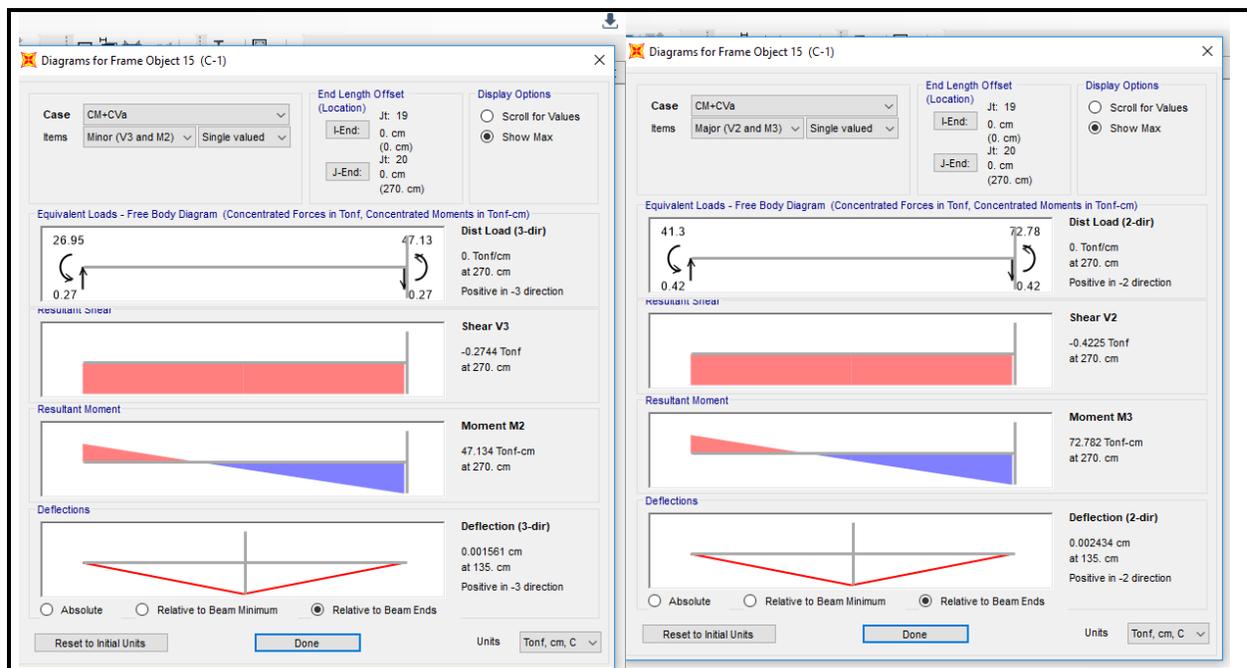


Imagen 6.13: Diagramas de momentos en X y Y correspondientes a la columna 1.

Fuente: SAP2000.

Ya que se realizó el análisis del modelo en el programa, se buscó que la sección fuera suficiente para las solicitaciones de la estructura, en este caso se propuso una sección con dimensiones de 40x40 centímetros, la cual resultó apta.

Los resultados del análisis para el área de refuerzo longitudinal, utilizando el software SAP2000, tomando en cuenta las consideraciones del Reglamento de Construcción del Distrito Federal de 2004 (RCDF 2004) se muestran a continuación.

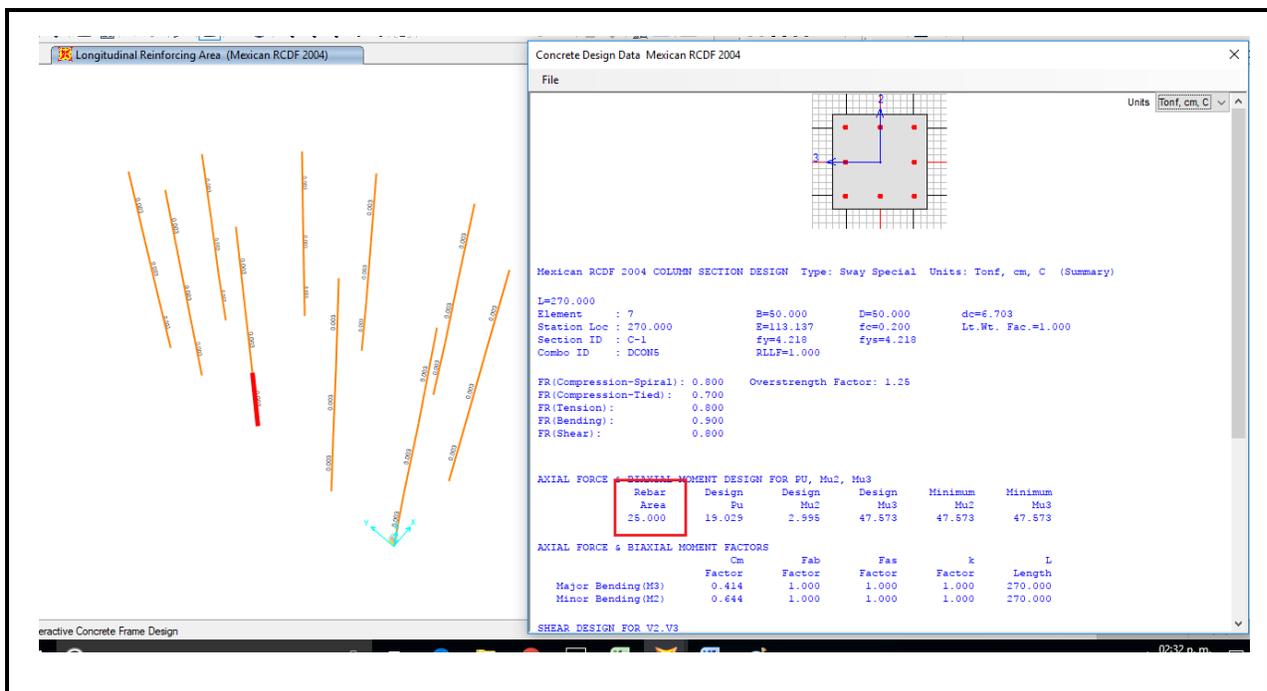


Imagen 6.14. Resultados del análisis para la obtención del acero de refuerzo para la columna 1. Elemento con la fuerza axial más grande.

Fuente: SAP2000.

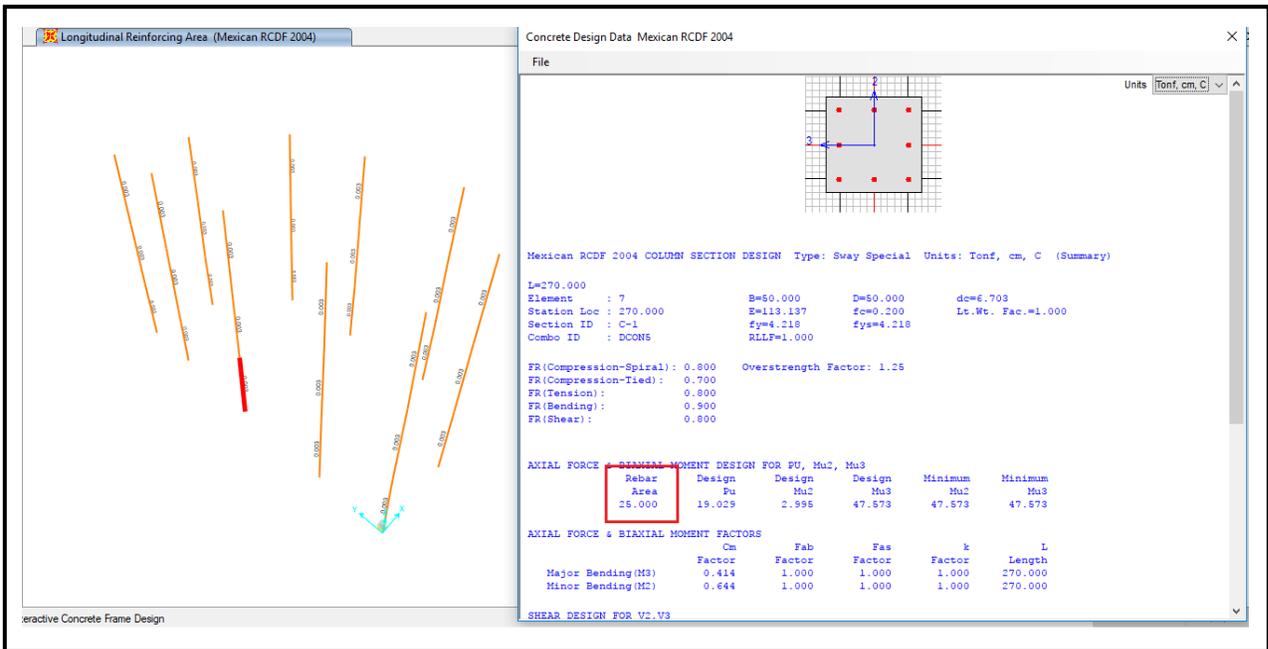


Imagen 6.15. Resultados del análisis para la obtención del acero de refuerzo para la columna 1. Elemento con el momento más grande en X y en Y.

FuenteSAP2000.

Cabe mencionar, que en el caso de la columna 1 (C_1) se tenían dos elementos dominantes, uno en donde la fuerza axial es la mayor de todos y otro en donde el momento tanto en X como en Y resultó el mayor de todas las columnas, sin embargo, como se puede observar en las imágenes anteriores, los resultados del área de acero de refuerzo resultan ser iguales, por lo tanto, se obtendrán los mismos resultados.

Como valor del área de acero de refuerzo se tienen 26 cm^2 , por lo que, proponiendo varillas del número 6 (3/4") con un área nominal de 2.87 cm^2 , el número de varillas es:

$$\#_{\text{varillas}} = \frac{\text{Área}_{\text{necesaria}}}{\text{Área}_{\text{varilla}}} = \frac{26 \text{ cm}^2}{2.87 \text{ cm}^2} = 8.00 \text{ varillas}$$

Se colocarán 8 varillas del número 6 (3/4") con un recubrimiento libre de 4 centímetros y estribos de varilla del número 3 (3/8") a una separación de 15 centímetros de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias del RCDF 2004.

Para la columna más desfavorable en el centro (C₂):

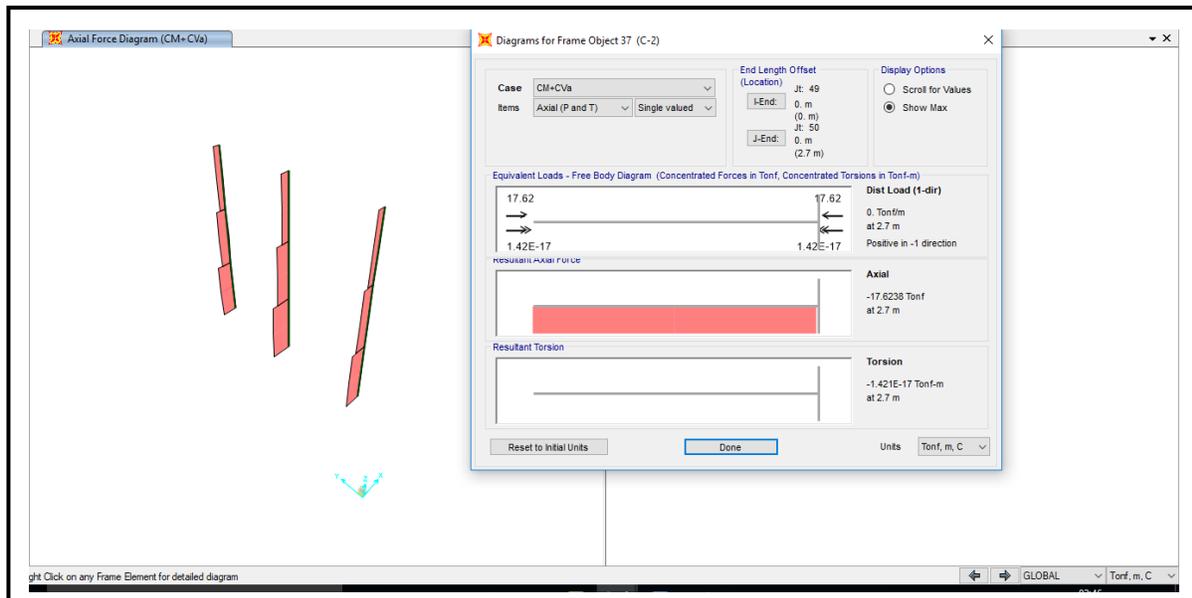


Imagen 6.16. Diagramas de fuerza axial correspondientes a la columna 2.

Fuente: SAP2000.

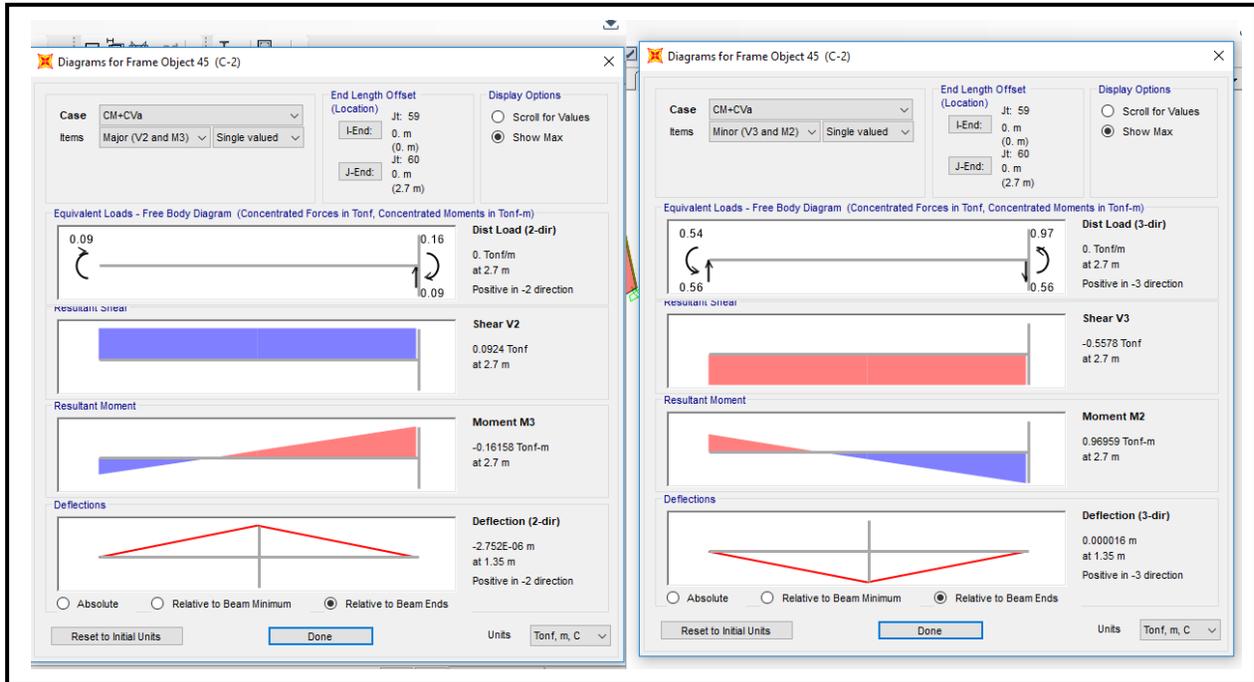


Imagen 6.17. Diagramas de momentos en X y Y correspondientes a la columna 2.

Fuente: SAP2000

Ya que se realizó el análisis del modelo en el programa, se buscó que la sección fuera suficiente para las solicitaciones de la estructura, en este caso se propuso una sección con dimensiones de 45x45 centímetros, la cual resultó apta.

Los resultados del análisis para el área de refuerzo longitudinal, empleando el software SAP2000, tomando en cuenta las consideraciones del Reglamento de Construcción del Distrito Federal de 2004 (RCDF 2004) se muestran a continuación.

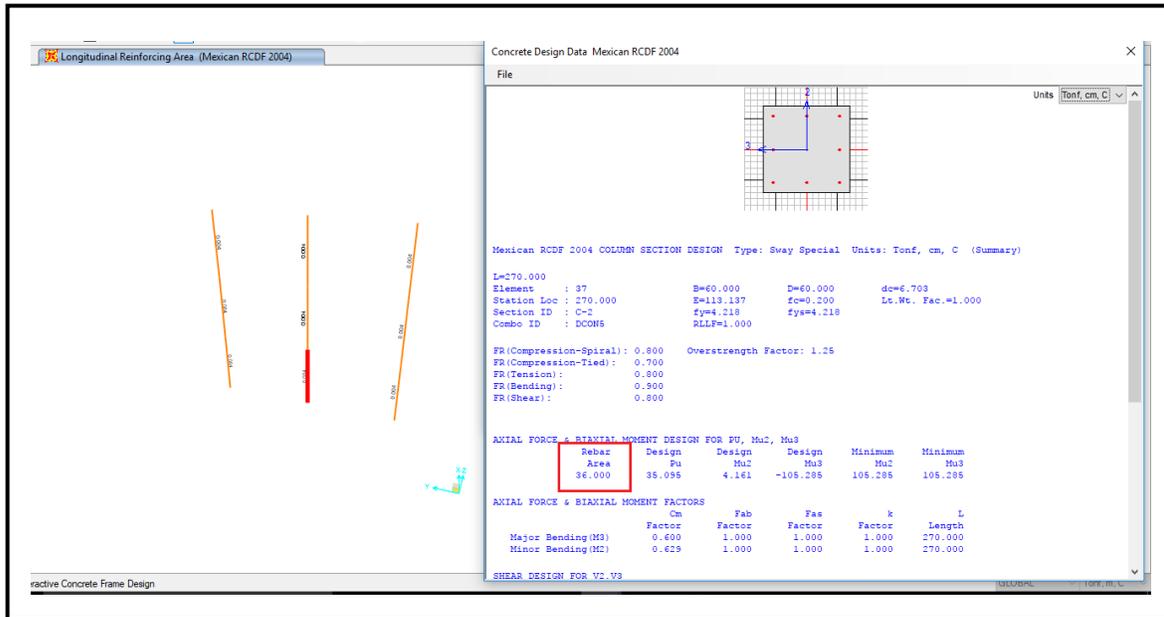


Imagen 6.18. Resultados del análisis para la obtención del acero de refuerzo para la columna 2. Elemento con la fuerza axial más grande.

Fuente: SAP2000.

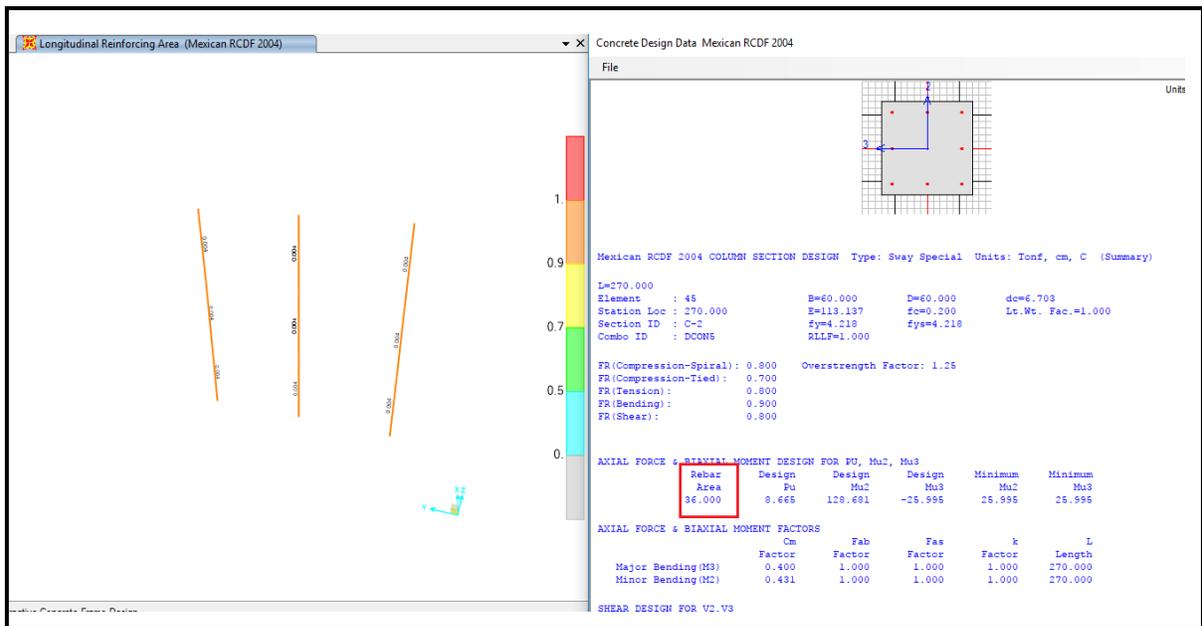


Imagen 6.19. Resultados del análisis para la obtención del acero de refuerzo para la columna 2. Elemento con el momento más grande en X y en Y.

Fuente: SAP2000.

Cabe señalar, que en el caso de la columna 2 (C₂) se tenían dos elementos dominantes, uno en donde la fuerza axial es la mayor de todos y otro en donde el momento tanto en X como en Y resultó el mayor de todas las columnas, sin embargo, como se pudo observar en las imágenes anteriores, los resultados del área de acero de refuerzo resultan iguales, por lo tanto, se obtendrán los mismos resultados.

Como valor del área de acero de refuerzo se tienen 36 cm², por lo que, proponiendo varillas del número 6 (3/4") con un área nominal de 6.42 cm², el número de varillas es:

$$\#_{varillas} = \frac{\text{Área}_{necesaria}}{\text{Área}_{varilla}} = \frac{36\text{cm}^2}{2.87\text{cm}^2} = 10 \text{ varillas}$$

Se colocarán 10 varillas del número 6 (3/4") con un recubrimiento libre de 4 centímetros y estribos de varilla del número 3 (3/8") a una separación de 15 centímetros de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias del RCDF 2004.

6.8 Diseño de la cimentación.

La cimentación es la parte más importante de la construcción y en la cual no debe ahorrarse en materiales ni en cuidados, puesto que es la que estará soportando toda la estructura.

Se recomienda hacer un análisis del terreno y calcular el peso de la construcción antes de elegir el tipo de cimentación emplear. Para este caso en particular ya se cuenta con el estudio de mecánica de suelos y con base en el resultado se concluyó que se trataba de una arcilla expansiva, por lo cual se propuso una losa de cimentación, ya que este tipo de cimentación se emplea en suelos poco resistentes. Al utilizar losas de cimentación se tiene una buena rigidez, se reducen los asentamientos diferenciales y se admiten mayores asentamientos totales.

Diseño de losa de cimentación:

Una losa de cimentación trabaja de manera similar a una losa de entrepiso, solo que por la manera en la que recibe la carga, equivale a una losa invertida. Debido a lo ya antes mencionado, para losas de cimentación se utilizan los mismos criterios que para losas de entrepiso, siempre y cuando se garantice que las cargas son más o menos uniformes y que la losa sea suficientemente rígida.

Para comenzar con el diseño lo primero que se tiene que elaborar es la estructuración.

Estructuración:

En este apartado se divide la losa en tableros, buscando que en el perímetro haya muros, de no ser así se colocarán contratrabes. Como anteriormente ya se hizo la estructuración para el cálculo de losas de azotea y entrepiso, y tomando en cuenta que se trata de una estructura porticada, se tomara como referencia la estructuración ya elaborada

Para continuar con el diseño es necesario contar con los resultados obtenidos del estudio de mecánica de suelos y además los datos de la estructura los cuales se proporcionarán a continuación:

<i>Datos:</i>	<i>Altura = 2.7 m</i>	<i>Resultados del estudio</i>
<i>Uso: casa – habitacion.</i>	<i>Concreto clase I.</i>	<i>de mecánica de suelos:</i>
<i>Wazotea = 0.746 T/m²</i>	<i>Fy = 4200 kg/cm²</i>	<i>Df = 2 m</i>
<i>Wentrepiso = 0.551 T/m²</i>	<i>f'c = 250 kg/cm²</i>	<i>γs = 1.6 T/m³</i>
<i>Niveles = 3</i>		<i>qu = 5.667 t/m²</i>

Presión de diseño:

Para el cálculo de la presión se utiliza la siguiente expresión:

$$q_{nu} = FC \frac{W_{total}}{A_{losa}}$$

Donde:

$$W_{total} = W_{azotea} + W_{entrepiso} + W_{muros} + W_{pretil}$$

➤ Carga de azotea.

$$\text{Área} = 63 \text{ m}^2 \quad W_{\text{azotea}} = 0.746 \text{ Ton/m}^2$$

$$W_{\text{azotea}} = (63 \text{ m}^2) \left(0.746 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right) = 47 \text{ ton}$$

➤ Carga de entrepiso.

$$\text{Área} = 63 \text{ m}^2 \quad W_{\text{azotea}} = 0.551 \text{ Ton/m}^2$$

$$W_{\text{entrepiso}} = (63 \text{ m}^2) \left(0.551 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right) = 34.72 \text{ ton}$$

Por lo tanto, $W_{\text{total}} = 47 + 34.72 + 88.2 + 7.68$

$$= 177.6 \text{ ton}$$

Aplicando la fórmula:

$$q_{nu} = FC \frac{W_{\text{total}}}{\text{Aloa}} = 1.4 \left(\frac{177.6}{60} \right) = 4.14 \text{ t/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \text{Diseño}$$

$$q_n = FC \frac{W_{\text{total}}}{\text{Aloa}} = \frac{177.6}{60} = 2.96 \text{ t/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \text{Servicio}$$

Se debe verificar que la presión de servicio no exceda la capacidad de carga del terreno:

$$q_u = 5.6 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} > q_u = 2.96 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}$$

Como la carga no sobrepasó la capacidad de carga del terreno, se puedes continuar con el cálculo.

Peralte de la losa:

De acuerdo a las NTC, el cálculo de las deflexiones puede omitirse si el peralte efectivo de la losa no es menor que el perímetro del tablero dividido entre 250 para concreto clase 1 y 170 para concreto clase 2.

- Concreto clase 1 $\geq 250 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto clase 1 $< 250 \text{ kg/cm}^2$; Pero no $< 200 \text{ kg/cm}^2$

Los lados discontinuos deben incrementarse en un 25 % cuando los apoyos sean monolíticos, y en un 50 % si no lo son. Para otras combinaciones de f_s y w el peralte efectivo mínimo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$0.032 \sqrt[4]{f_s W} = \text{factor de corrección del perímetro.}$$

Donde:

$$-f_s = \text{esfuerzo del acero en condiciones de servicio en kg/cm}^2 \text{ (} f_s = 0.6 f_y \text{)}$$

$$-w = \text{carga en condiciones de servicio en kg/m}^2.$$

Factor de corrección del perímetro:

Para realizar el cálculo del factor de corrección se utilizó la carga de servicio:

$$W = qn = 2.96 \text{ Ton/m}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0.032 \left(\sqrt[4]{(0.6 * 4200)(2960)} \right) = \mathbf{1.673}$$

Revisión de peralte de la losa:

Se hace la revisión del peralte de la losa considerando el factor calculado anteriormente y tomando el perímetro más desfavorable:

$$\text{perímetro desfavorable (tab.II)} = 2(375) + 300 + 1.25(300) = \mathbf{1425 \text{ cm}}$$

$$d_{min} = FR \left(\frac{\text{perímetro}}{250} \right)$$

$$d_{min.} = 1.673 \left(\frac{1425}{250} \right) = \mathbf{9.54 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}}$$

Considerando un recubrimiento de 7 cm:

$$H = d + r = 10 + 7 = \mathbf{17 \text{ cm}}$$

Armado de la losa:

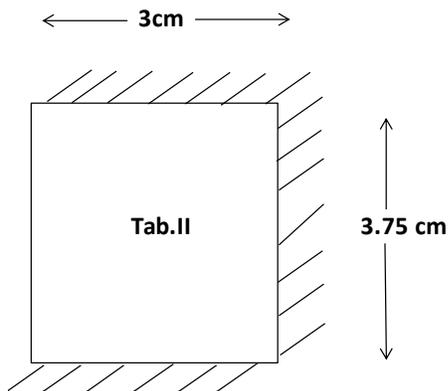
Por cuestiones prácticas se consideró el tablero más desfavorable y de acuerdo con RCDF se realiza lo siguiente:

- ✓ Clasificación del tablero:

Con base en la Tabla 6.1. (Coeficiente de momentos flexionantes para tableros rectangulares) del RCDF, el tablero II se clasifica como un tablero de Borde con un lado largo discontinuo.

- ✓ Obtención de los coeficientes:

Los coeficientes se obtienen de la tabla 6.1. Del RCDF, en caso de que no coincida con algún valor dentro de la tabla, se podrá interpolar linealmente entre los valores correspondientes.



$$m = a1/a2 = 3/3.75 = 0.8$$

II: DE BORDE, lado largo discontinuo	Neg. En borde continuo	corto	371.50
		largo	363.00
	Neg. En borde discontinuo	corto	234.50
		largo	
	Positivo	corto	183.00
		largo	134.50

Momento de servicio:

$$M_{SERV.} = coef. \times 10^{-4} (w)(a_1)^2$$

$$M_{SERV.} = 371.5 \times 10^{-4} (0.746)(3.75)^2 = 0.3897 \text{ T.m/faja 1m}$$

$$M_{SERV.} = 363 \times 10^{-4} (0.746)(3.75)^2 = 0.3808 \text{ T.m/faja 1m}$$

$$M_{SERV.} = 234.5 \times 10^{-4} (0.746)(3.75)^2 = 0.2460 \text{ T.m/faja 1m}$$

$$M_{SERV.} = 183 \times 10^{-4} (0.746)(3.75)^2 = 0.1919 \text{ T.m/faja 1m}$$

$$M_{SERV.} = 134.5 \times 10^{-4} (0.746)(3.75)^2 = 0.14109 \text{ T.m/faja 1m}$$

Momento último:

Por cuestiones prácticas se utilizará el momento de servicio más desfavorable para el cálculo del momento último:

$$M_u = 1.4(M_{SERV.})$$

$$M_u = 1.4(0.3897) = \mathbf{0.54558}$$

Porcentaje de acero:

Para obtener el acero de refuerzo necesario para resistir la flexión, se debe calcular los porcentajes de acero: mínimo y necesario, con las siguientes ecuaciones:

- Porcentaje de acero mínimo:

$$\rho_{\text{mín.}} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0.7\sqrt{200}}{4200} = 0.002357$$

- Porcentaje de acero necesario:

$$\rho_{\text{necesario}} = \frac{f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_U}{F_R b d^2 f'_c}} \right] = \frac{136}{4200} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2(0.54558 \times 10^5)}{0.9 * 100 * 10^2 * 136}} \right] = 0.00134$$

Se debe verificar si el acero necesario fluye, es decir, es el indicado, para ello se debe revisar que:

$$\rho_{\text{mín.}} > \rho_{\text{necesario}} < \rho_{\text{máx}}$$

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.002357 > \rho_{\text{necesario}} = 0.00134 < \rho_b = 0.015238$$

En este caso, no se cumple toda la condición, por lo tanto:

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.002357$$

Área de acero necesario:

$$A_s = \rho b d = 0.002357 * 100 * 10 = 2.357 \text{ cm}^2$$

Proponiendo emplear varilla del # 4 con área nominal ($a_o=1.27 \text{ cm}^2$), se obtiene el número de varillas necesarias con la expresión:

$$N = \frac{A_s}{a_o} = \frac{2.357}{1.27} = 1.86 \text{ varillas}$$

Por lo tanto, son necesarias:

2 varillas del # 4 ($a_o=1.27 \text{ cm}^2$)

Separación entre varillas:

$$S = \frac{100(a_o)}{A_s}$$

Suponiendo Varilla #4 con un área nominal de 1.27 cm^2

$$A_s = \rho b d = 0.002357 * 100 * 10 = 2.357$$

$$S = \frac{100(1.27)}{2.357} = 53.88 \text{ cm}$$

Por cuestiones prácticas se utilizará una separación de 20cm.

Se propone varilla corrida # 4 @ 20 cm en ambos sentidos.

Finalmente en este capítulo se determinó que un buen diseño estructural es de suma importancia puesto que con él se determinan las características físicas de la estructura, las cuales permiten garantizar la absorción de cargas a la que estará sujeta, sin sufrir daño alguno y que cumpla con la función a la que está destinada.

Además de que el diseño de la cimentación, está dada por las condiciones de carga y a las características de suelo, por lo que es importante realizar un estudio de mecánica de suelos para tener los datos exactos de las cargas que podrá resistir el suelo en donde estará desplantada la estructura, ya que se sabe que la cimentación es la que soporta todo el peso de la construcción, y si esta llegara a falla ocasionaría un fallo total de la estructura.

CONCLUSIONES

La presente tesis de nombre “Diseño estructural de una casa habitación de tres niveles desplantada sobre arcillas expansivas en el municipio de Gabriel Zamora, Michoacán”, tenía como objetivo general analizar y diseñar los elementos estructurales, lo cual se cumplió puesto que en el capítulo 6 se muestra el análisis de los elementos llevado a cabo en programa SAP2000 y posteriormente se puede apreciar el diseño de dichos elementos.

Igualmente se cumplió con el objetivo particular número uno, el cual indica que se debe definir el diseño estructural de la vivienda, se puede colaborar en el capítulo seis ya que se observa en el subtema 6.2. La estructuración del proyecto en donde se enfoca el diseño de la estructura.

En esta investigación en particular se cumplieron las Especificaciones de Diseño del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (2004), en sus Normas Técnicas Complementarias, puesto que al realizar el análisis y diseño estructural se tomaron en cuenta los criterios de diseño y además cumplió con los factores de seguridad que marca el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF).

Se obtuvieron los elementos mecánicos máximos actuantes en los elementos estructurales principales con ayuda del software SAP2000 y posteriormente se realizó el diseño, esto se puede observar en el capítulo seis.

Se realizó un estudio de mecánica de suelos, en las instalaciones de la Universidad Don Vasco Uruapan, Michoacán; del sitio donde se llevará a cabo el proyecto, esto con el fin de obtener como resultado la capacidad de carga que posee dicho suelo. Del estudio se obtuvo la capacidad de carga del terreno la cual es de 5.667 t/m^2 , $\gamma_s=1,67\text{t/m}^3$; cabe mencionar que la profundidad de desplante es de 2mts.

Como la estructura estará cimentada sobre arcillas expansivas se realizó un capítulo en donde se señaló, el origen, clasificación, propiedades y características de las arcillas, entre otros datos necesarios para la investigación.

Con base en los resultados del estudio de mecánica de suelos y la investigación realizada, se pudo deducir que se trata de un suelo con poca capacidad de carga, el cual llega a sufrir cambios volumétricos al exponerse al agua, de acuerdo a esto se propuso una losa de cimentación ya que este tipo de cimentación es empleada en suelos poco resistentes.

Se propone un mejoramiento de suelo en el cual se deben combinar dos métodos los cuales son: método físico y el de compactación. En donde el físico se basa en la mezcla de un material con propiedades complementarias, de tal manera que se logre formar un material de mejor calidad, en este caso se recomienda agregar un material granular limpio. Tratándose de una arcilla de alta plasticidad (CH), como método de compactación se recomienda usar un rodillo pata de cabra puesto que este equipo alcanza una mayor efectividad sobre suelos cohesivos, debido a que las patas salientes ejercen una presión mayor sobre el terreno al ser menor el área de contacto. El material debe ser compactado a una densidad del 98%

de la densidad máxima y a una humedad no menor a la óptima de la correspondiente a la prueba Proctor Estándar.

Así mismo dentro de esta investigación surgió la siguiente cuestión, ¿Cuál es el diseño estructural adecuado para una casa habitación de tres niveles desplantada sobre arcillas expansivas? La cual queda por hecho que se resolvió puesto que al momento de analizar y diseñar los elementos mecánicos de la estructura se tomaron en cuenta los criterios de seguridad establecidos en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal, así mismo se utilizaron los factores que intervienen en acciones como sismo.

Se puede señalar en la presente investigación los hallazgos principales que fueron aprender a utilizar el programa SAP2000, analizando una casa de tres niveles a base de marcos rígidos con diferentes condiciones de carga, teniendo así múltiples resultados para así llevar a cabo el cálculo adecuado, dentro de los parámetros de seguridad y economía, rompiendo de esta manera la creencia de que al tratarse de una casa habitación no es necesario el cálculo estructural y se tome como procedimiento normal, ya que se observó que las fuerzas que intervienen en el análisis no fueron nada despreciables, y que gracias al cálculo se puede evitar un colapso total o parcial de la estructura.

Tener un conocimiento más amplio sobre los diferentes estudios de laboratorio de mecánica de suelos, que se le deben realizar al sitio en donde se desplantará la estructura, porque no todos los suelos cuentan con la misma capacidad de resistir la carga que le impone cualquier tipo de construcción. De igual manera es necesario evaluar cuáles son las características del material para

determinar si es necesario realizar un tratamiento para mejorarlo, ya que no todos los suelos tienen las mismas propiedades.

Además de ser capaz de proponer el tipo de cimentación de acuerdo con el tipo de suelo que se encuentre en el sitio en donde se llevará a cabo la construcción, y aprender a realizar el diseño de una losa de cimentación.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Rivera, G. Carlos Reyna, Jorge L. (1993).

Cuaderno de trabajo de comportamiento de suelos.

Ed. Faculta de ingeniería-UNAM. México.

Camba José Luis, Cachón Francisco, Pérez Francisco (1982).

Apuntes de análisis estructural I

Fac. ing. UNAM.

Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alonso. (2005).

Mecánica de suelos. Tomo I. Fundamentos de la mecánica de suelos.

Ed. Limusa; México.

Lepe José (1983).

Diseño de presas pequeñas.

Ed. Continental, México.

Meli Piralla Roberto (2001).

Diseño estructural.

Ed. Limusa, México.

M. Das, Braja. (2001).

Principios de ingeniería de cimentaciones.

Ed. Internaional Thomson. México.

Taylor W. Donald. (1961).

Principios fundamentales de la mecánica de suelos.

Ed. Continental, S, A. México 22, D. F.

Terzaghi Karl, Peck Ralph B. (1978).

Mecánica de suelos en la ingeniería práctica.

Ed. El ateneo, S, A. México.

Ortiz Gallo Gabriel O, Márquez Espino Luis I, Montes Olvera Alfonso E. (2005).

Diseño estructural de casas habitación.

Ed. McGraw-Hill, México.

Otras fuentes de información.

<http://conceptodefinicion.de/mineral:/>

<http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/Cation-Exchange-Capacity>

<http://www.edafologia.net/introeda/tema05/ccc.htm>

[http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/11/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsue
lo.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/11/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsue
lo.pdf)

<http://www.estudiosgeotecnicos.info/>

<http://www.ingenierocivilinfo.com/>

http://www.academia.edu/8646933/CARTA_DE_PLASTICIDAD

[http://www.fceia.unr.edu.ar/estudiantesingcivil/apuntes/geotecnia/apuntes/Teor%EDa
%20de%20consolidacion.PDF](http://www.fceia.unr.edu.ar/estudiantesingcivil/apuntes/geotecnia/apuntes/Teor%EDa
%20de%20consolidacion.PDF)

<https://fisica.laguia2000.com/>

<http://www.arqhys.com/arquitectura/paredes-materiales.html>

<http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/indest1.html>

<http://www.universidad.com.ar/como-medimos-los-sismos>

<http://www.smis.org.mx/sismicidad.html>

<http://www.chilango.com/ciudad/sismos-con-epicentro-en-la-ciudad-de-mexico/>

[https://www.gob.mx/sgm/articulos/sismos-causas-caracteristicas-e-
impactos?idiom=es](https://www.gob.mx/sgm/articulos/sismos-causas-caracteristicas-e-
impactos?idiom=es)

[http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/ondas_s%
EDsmicas.htm](http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/ondas_s%
EDsmicas.htm)

<http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/740.pdf>

[http://estructuras.eia.edu.co/hormigonII/fundaciones/zapatas%20concentricas/zapata
s1.htm](http://estructuras.eia.edu.co/hormigonII/fundaciones/zapatas%20concentricas/zapata
s1.htm)

<http://www.eadic.com/tipos-cimentacion-directa/>

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/suelos-finos.html>

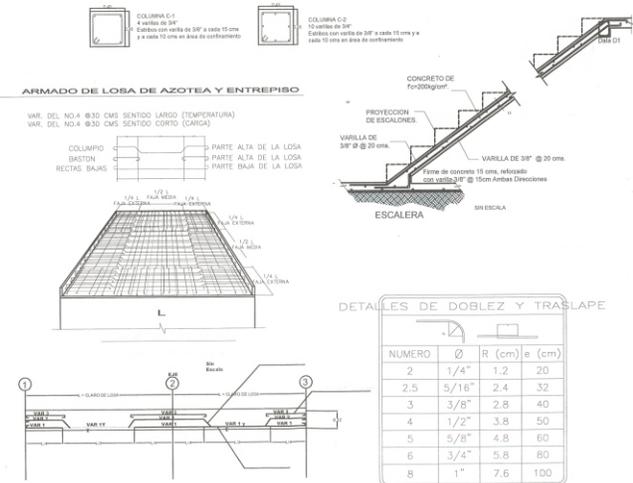
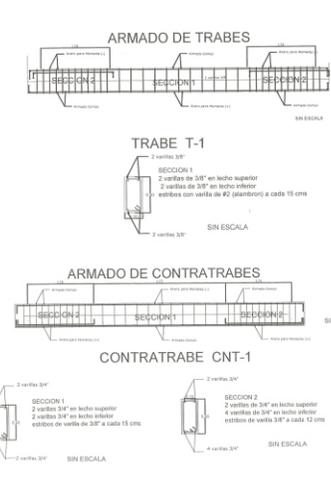
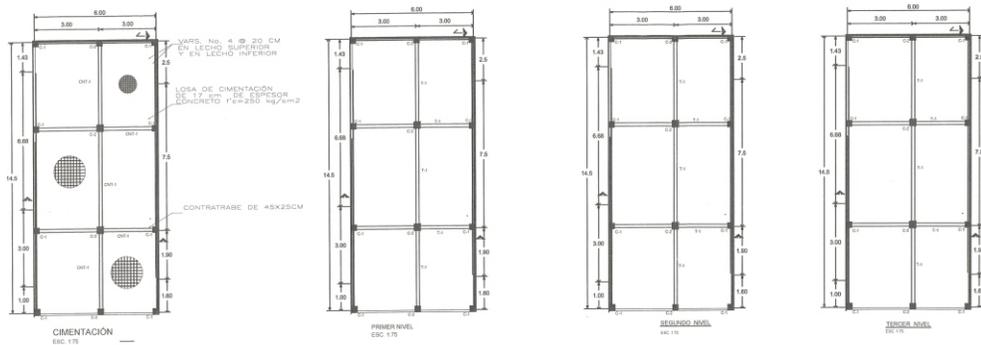
<http://equipamientocientifico.com/suelo/1031-hidrometro-para-suelos-de-bouyoucos.html>

http://www.anr.gob.mx/PDFMunicipales/2013/16033_AR_GABRIEL_ZAMORA.pdf

http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/normal-0-false-false-false_05.html

<https://www.ecured.cu/Suelo>

ANEXOS



ESPECIFICACIONES:

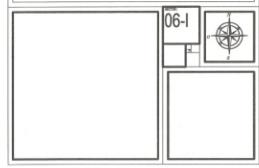
La Losa de Azotea y Entrepiso de concreto 12 cms de espesor, con concreto de $f_c=200\text{kg/cm}^2$.

Varillas estructural

- Varilla 1
Se colocará en el lecho bajo de la losa será de 1/2" y estará a una separación de 30 cms
- Varilla 2
En el centro de la losa ira en el lecho bajo y en los extremos en el lecho superior según se indica, será de 1/2" a una separación de 30 cms
- Varilla 3
Se colocará en el lecho superior de la losa será de 1/2" y estará a una separación de 30 cms

Todo la varilla a utilizarse tanto en columnas trabe, contratraves y dalas, sera de resistencia $f_y=4200\text{Kg/cm}^2$.

Losa de cimentación.
Se colocará una losa de cimentación de 17 cm de espesor, armada con varilla del #4 (ap=1.27cm) @20cm en ambos sentidos, doble emparillado.



ANEXO C. Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_c = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7		
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)		GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO			
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA			
		ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	ARENAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SW		ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_v = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} \times D_{30}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7
				PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SP		ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	
	ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)		FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)		SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS			
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS			
	METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40								
	SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200		LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)			
		NULA A LIGERA		RAPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD		
		MEDIA A ALTA		NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS		
LIGERA A MEDIA		LENTA		LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD			
LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		LIGERA A MEDIA		LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS		
		ALTA A MUY ALTA		NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS		
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA			
					Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS			
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS				

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:

GW, GP, SW, SP
GM, GC, SM, SC
CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES

MEIOS DEL 5%
MAS DEL 12%
5% AL 12%

LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$

COMPARANDO CON SUELOS CON EL MISMO LIMITE LIQUIDO

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO