



# **UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

## **Escuela de Ingeniería Civil**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO PARA UNA NAVE INDUSTRIAL EN UN EMPAQUE DE AGUACATE EN URUAPAN, MICH.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Diego Juvenal Luna Esquivel**

Asesor:

**I.C. Sandra Natalia Parra Macías**

Uruapan, Michoacán a 28 de Enero del 2014.



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente tesis, es una parte muy importante en mi vida, dado que es una meta particularmente especial por todo lo que hay detrás de estas hojas, es por ello que quiero agradecer:

A DIOS por darme la fortaleza, el coraje y temple necesario para levantarme cuando tropecé además del hermoso regalo de la vida.

A mis padres, Jubenal Luna Cortés y María Biridiana Esquivel Toledo por ser esa luz que brilla aun cuando me encuentro perdido y que con sus sabias palabras me reconfortan y orientan. Por esos días de esfuerzo, sudor y lágrimas que me mostraron como ser un hombre de bien. Por su dedicación, ejemplo, amor y muchas cosas más, mil gracias papás, los amo.

A mi hermana, Viridiana Luna Esquivel por estar a mi lado siempre como una amiga y hermana a la vez y hacerme ver que puedo contar con ella, además por el gran regalo de ser tío.

A mis abuelos, José Rocambole Esquivel Martínez y (†) María Concepción Celia Toledo Castro por mostrarme que el amor y la sencillez de una persona tienen el poder de hacer grandes cambios.

A mi asesora, la ingeniera Sandra Natalia Parra Macías por su apoyo, dedicación y tiempo dentro y fuera del ámbito escolar.

Al ingeniero Anastacio Blanco Simiano por su ayuda y apoyo incondicional durante toda la carrera así también por su amistad.

A Luis Ángel Sánchez Trejo, Adolfo Molina Duarte, Ignacio Rafael Luna López y Brandon Iván Flores Valdovinos por su apoyo y amistad en los momentos complicados y divertidos de la carrera, por no abandonarnos cuando el camino se volvió difícil si no al contrario por ayudar a levantarse al que caía, gracias amigos.

A la constructora DESING S.A de C.V y a los ingenieros Jairo Artemio Sánchez Franco, Omar Amezcua Sánchez, Omar Díaz Tafolla y José Francisco Parra Macías, por su apoyo y tiempo en la elaboración de este trabajo además de brindar información muy importante para el mismo.

## ÍNDICE.

### **Introducción.**

Antecedentes. . . . .	1
Planteamiento del problema. . . . .	3
Objetivos. . . . .	4
Pregunta de investigación. . . . .	5
Justificación. . . . .	5
Marco de referencia. . . . .	5

### **Capítulo 1. Introducción al diseño estructural.**

1.1. El ámbito del diseño estructural. . . . .	7
1.2. Proceso del diseño estructural. . . . .	9
1.2.1. Conceptos fundamentales. . . . .	13
1.3. Acciones. . . . .	16
1.3.1. Carga muerta. . . . .	22
1.3.2. Carga viva. . . . .	25
1.3.3. Viento. . . . .	28
1.3.4. Sismo. . . . .	30
1.4. Resistencia. . . . .	30

1.5.	Reglamentos de diseño.	31
1.6.	Requisitos de servicios.	32

## **Capítulo 2. El acero como material estructural.**

2.1	Desarrollo histórico..	34
2.2	Acero estructural.	37
2.2.1	Aceros estructurales disponibles .	39
2.2.2	Curva esfuerzo-deformación del acero estructural.	42
2.3	Ventajas del acero estructural.	43
2.4	Desventajas del acero estructural.	45
2.5	Economía en el diseño estructural.	45
2.6	Seguridad estructural.	47
2.7	Métodos de construcción.	47
2.8	Diseño de vigas a flexión.	48
2.9	Perfiles de acero.	50
2.9.1	Elección de perfiles.	52
2.10	Conexiones con pernos.	52
2.11	Conexiones soldadas.	56

### **Capítulo 3. Resumen ejecutivo de macro y microlocalización.**

3.1	Objetivo.	60
3.2	Alcance del proyecto.	61
3.3	Macrolocalización.	61
3.3.1	Orografía del estado.	62
3.3.2	Hidrografía del estado.	63
3.3.3	Clima del estado.	64
3.3.4	Vegetación del estado.	64
3.3.5	Demografía del estado.	65
3.4	Microlocalización.	65
3.4.1	Orografía del municipio.	67
3.4.2	Clima del municipio.	67
3.4.3	Flora y fauna del municipio.	68
3.4.4	Actividad comercial del municipio.	69
3.4.5	Actividad turística del municipio.	70

## **Capítulo 4. Metodología.**

4.1	Método científico.	75
4.1.1	Método matemático.	76
4.2	Enfoque de la investigación.	76
4.2.1	Alcance de la investigación.	77
4.3	Tipo de diseño de la investigación.	78
4.3.1	Investigación transeccional.	79
4.4	Instrumentos de recopilación de datos.	79
4.5	Descripción del proceso de investigación.	80

## **Capítulo 5. Cálculo, análisis e interpretación de resultados.**

5.1	Diseño de largueros con el RCEM.	82
5.2	Diseño de la armadura grande con 2 apoyos.	101
5.2.1	Diseño de las barras a tensión.	104
5.2.2	Diseño de las barras a compresión.	106
5.2.3	Rediseño de las barras a tensión.	110
5.2.4	Rediseño de las barras a compresión.	112
5.3	Diseño de la armadura chica con 2 apoyos.	115

5.3.1	Diseño de las barras a tensión.	118
5.3.2	Diseño de las barras a compresión.	120
5.3.3	Rediseño de las barras a tensión.	125
5.3.4	Rediseño de las barras a compresión.	126
5.4	Diseño de la columna.	130
5.5	Diseño de placa y anclaje.	131
5.6	Diseño de soldadura.	133
	<b>Conclusiones.</b>	<b>141</b>
	<b>Bibliografía..</b>	<b>145</b>
	<b>Anexos.</b>	

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Desde el periodo del neolítico, se muestran y se aprecian que todas las construcciones realizadas, fueron creadas para la solución de algún problema o necesidad de ese momento manifestado por las sociedades primitivas e inclusive por estadías o asentamientos ya de una forma más formal.

Conforme se fue desarrollando más la forma de comunicación entre los individuos de esa época, se fueron dando cambios o modificaciones a la forma de solución de los diferentes problemas, basados en las experiencias ya vividas.

De acuerdo a cada edificación que realizaban, iban desarrollando nuevos procesos para mejorar, por lo que comenzaron a dar dimensiones a ciertas estructuras, observaron la fragilidad de unos objetos ante la carga que les colocaban y comenzaron a experimentar con nuevos materiales u objetos para que no se cayera lo que construían.

En la búsqueda de materiales más resistentes, el hombre comenzó a descubrir que si combinaba diferentes elementos de la naturaleza obtenía nuevos materiales e inclusive con mucho más resistencia.

Según la página de internet [www.aceroyhierro.wordpress.com](http://www.aceroyhierro.wordpress.com) (2013), no se tiene una fecha exacta del inicio del acero, pero se encontraron objetos del año 3000 A.C., elaborados de acero y en el año 1856 se elaboraron los primeros aceros con las características similares a las de hoy en día.

De acuerdo a lo citado en Meli Piralla (2004) el diseño estructural, es la determinación de las características y dimensiones de una estructura las cuales deben de cumplir de manera adecuada las funciones para las que está destinada a desempeñar.

Por lo que la definición empleada en el presente trabajo será la descrita por Meli Piralla.

Al investigar en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. se encontraron 8 tesis relacionadas con el diseño estructural, de las cuales solo 4 fueron utilizadas para la elaboración de la presente tesis. Llevando una como título: Comparativa de diseño sísmico de regulares de concreto reforzado por métodos de resistencia última y por desempeño, ubicados en distintas zonas de Michoacán, y capítulos: análisis sísmico y diseño estructural, llegando a la conclusión de que es necesario conocer la región y la actividad tectónica presentada en el área para poder determinar las condiciones de diseño sísmico de las construcciones.

Una de las tesis utilizadas fue elaborada por Teódulo Iván Cornejo Vázquez en el 2008 y lleva como título: Diseño estructural de una casa modular de dos niveles con elementos prefabricados de acero y placas de concreto, cuyos capítulos son los siguientes: Descripción estructural y arquitectónica y Análisis y diseño de los elementos resistentes. Llegando a la conclusión de que es más económico la adquisición de materiales cuya fabricación es industrializada, ya que se generan más piezas en un mismo lapso de tiempo por lo que la mano de obra se reduce.

Guillermo Navarrete Calderón y Sandra Natalia Parra Macías elaboraron la tesis titulada Análisis y diseño estructural para un estadio de futbol de 2ª. División en Uruapan Mich. Cuyos capítulos son: Proyecto arquitectónico, cubiertas para gradería, losas, análisis estructural de marco por carga permanente, análisis sísmico, diagramas de cortante y momento, envolventes, trabes, columnas, cimentación y detalles estructurales. Otra tesis lleva como título: Análisis y diseño estructural de un edificio de estacionamiento para la Universidad Don Vasco, y capítulos, concreto y análisis estructural, llegando a la conclusión de que toda construcción se puede comportar de diferentes formas, esto a causa del terreno donde se pretenda construir, esta edificación de acuerdo con lo diseñado y calculado resistirá sin ningún problema extraordinario.

### **Planteamiento del problema.**

Desde el inicio de la ingeniería civil, el cálculo estructural ha sido tomado en cuenta, ya que sin él, todas o la gran mayoría de las construcciones estarían en riesgo del colapso con cualquier agente externo como sismo, viento ó nieve con una intensidad razonable.

La finalidad del cálculo estructural incluyendo dentro de este el análisis y diseño estructural, es la de salvaguardar las vidas de los usuarios de cada construcción, y al mismo tiempo, evitar un incremento desconsiderado en los costos de construcción.

Por lo que en el presente trabajo se llevará a cabo un diseño estructural, para lograr un ahorro en los costos de construcción utilizando solo el material necesario para cada aspecto de la nave, y al mismo tiempo garantizando una seguridad estructural para todas las personas que lleguen a laborar bajo esta estructura, lo que nos lleva a la siguiente pregunta, ¿Cuál es el diseño adecuado de una nave industrial para un empaque de aguacate?

### **Objetivos.**

El siguiente trabajo estará regido bajo los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Analizar y diseñar una nave industrial en acero para un empaque de aguacate en la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Objetivos particulares:

- 1.-Diseñar una armadura adecuada para soportar los pesos y fuerzas que actuarán sobre ella.
- 2.-Determinar el material idóneo para armaduras cuyos claros son grandes.
- 3.-Crear una estructura funcional, capaz de garantizar la seguridad de los trabajadores y equipo dentro de ella.
- 4.-Diseñar las uniones de las diferentes piezas de la estructura.

5.-Determinar una lámina por medio del análisis estructural, que eviten el paso del ruido del exterior hacia el interior.

### **Pregunta de investigación.**

Desde hace mucho tiempo, el aguacate ha sido la parte más importante de la economía uruapense, por lo que se ha buscado la forma de mejorar las instalaciones o empaques donde esta fruta se maneja. Pero ¿Cuál es el diseño adecuado de una nave industrial para un empaque de aguacate?

### **Justificación.**

En Uruapan se cuentan con una gran cantidad de empaques de aguacate, pero a pesar de ello, no se ha elaborado una tesis o un trabajo escrito que especifique a los alumnos de carreras afines a la ingeniería civil o gente en particular, los cálculos efectuados para realizar un proyecto de esta magnitud.

Un empaque de aguacate, a pesar de no tener una gran conglomeración de gente dentro de ella es de gran importancia que sea bien diseñado estructuralmente, ya que el ingeniero civil tiene como objetivo el salvaguardar la vida de la persona o personas que se encuentren dentro de su creación.

### **Marco de referencia.**

El diseño estructural en este incluido el diseño por viento y por sismo de este empaque de aguacate, está elaborado para el estado de Michoacán, específicamente para el kilómetro 7 de la carretera estatal Uruapan-Nuevo San Juan

Parangaricutiro que se localiza en la parte centro – oeste de la República Mexicana, entre las coordenadas 19°23'32.55" latitud norte y 102°06'5.10" latitud oeste del meridiano de Greenwich.

Esta limitado por los estados de Guanajuato y Jalisco al norte, con Querétaro al noroeste, al este con México y Guerrero, al oeste con el Océano Pacífico y los estados de Colima y Jalisco, y al sur con Guerrero y el Océano Pacífico.

La ciudad de Uruapan está localizada en la parte oeste del estado, cuyas coordenadas son 19°25' latitud norte y 102°03' latitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1,620 msnm. Según los datos arrojados por el Censo de Población y Vivienda del INEGI 2010, el municipio de Uruapan cuenta con 315,329 habitantes y la ciudad de Uruapan cuenta con 264,439 habitantes, lo que la coloca en el lugar 58° en el país en cuanto a población se refiere.

La densidad de población es de 336 habitantes por km<sup>2</sup>. La escolaridad del municipio de Uruapan es de 7.8 años y cuyo porcentaje de analfabetas es del 9.1%.

La principal actividad de la ciudad de Uruapan en sin duda la agricultura, pero en especial el cultivo del aguacate, el cual ha sido llamado el oro verde de Michoacán.

El tipo de suelo de esta región tiene presencia desde la era cenozoica, terciaria, cuaternaria y eocena.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN AL DISEÑO ESTRUCTURAL.

En el presente capítulo, se abordarán temas sobre el diseño estructural, en los cuales se definirá que es un diseño estructural, los procesos, algunos conceptos fundamentales, acciones que se toman en cuenta para su desarrollo, y reglamentos entre otros temas. Todos los temas antes mencionados son de gran ayuda para la comprensión de este capítulo.

### 1.1 El ámbito del diseño estructural.

“Todo elemento construido con el destino específico de soportar la presencia de cargas, y entre ellas de manera preponderante su propio peso y el de la construcción que sustenta, sin perder las condiciones de funcionabilidad para las que fue concebida.” (es.wikipedia.org, 2007).

La palabra diseño, se puede entender como el proceso previo a la elaboración y/o determinación de un proyecto, estructura, plan, entre muchas otras actividades. Por lo que al tener entendido el significado de diseño y estructura se puede definir al diseño estructural como la pre-determinación de la forma, dimensiones y características de una estructura para que pueda soportar las cargas, su peso propio y el de la construcción sin perder su funcionabilidad.

Dentro de la elaboración o construcción de un edificio, no solo se encuentra el diseño estructural, si no que interfieren muchos aspectos más. El aspecto

arquitectónico, el cual da una estética y diseño al edificio. El estructurista, el cual trata de adaptarse a los requisitos arquitectónicos planteados para así realizar un diseño estructural adecuado. El proyectista, el cual basado en los proyectos arquitectónicos y estructurales realizan los diseños.

Las obras son construidas para que tengan una resistencia ante las diferentes situaciones que se puedan presentar y así la gente dentro de ellas puedan evacuarla antes del colapso de la misma. Pero la resistencia no es la única ni la principal finalidad de las obras y el diseño sino que cada obra tiene su principal finalidad dependiendo para que fuera construida.

Dentro del diseño de obras, cada vez se ha ido conduciendo al diseño por equipo, lo cual indica o sugiere el asesoramiento de un especialista en la rama o área en la cual se desenvuelva el proyecto. Por lo que si el proyecto fuera un edificio urbano, sería dirigido por un arquitecto, quién fijaría los lineamientos generales de las instalaciones y proyecto estructural.

Si el proyecto a realizar fuera un puente el coordinador designado sería el proyectista estructural, ya que interactúa con especialistas del área de mecánica de suelos y el de vías terrestres.

Se debe tomar en cuenta que cada obra civil, sea cual sea su tamaño, generará un impacto ambiental en el entorno y también impactos sociales. Estas características no pueden ser tomadas a la ligera, ya que puede generar cambios permanentes en el entorno. Por ello cada vez mas es necesaria la presencia de especialistas en estas áreas.

Los principios y fundamentos del diseño estructural, se asemejan a gran cantidad de artefactos, ya que todos deben de soportar distintas condiciones para cumplir adecuadamente el objetivo para el cual fueron diseñadas. En cada construcción u obra existen diferentes problemas, los cuales tienen una gama de soluciones muy grande.

## **1.2 Proceso del diseño estructural.**

Con base a lo mencionado en Meli, Piralla (2008), el diseño es el proceso mediante el cual son definidas las características específicas de un sistema para cumplir de manera óptima con sus objetivos, los cuales son salvaguardar las vidas de los usuarios soportando las fuerzas externas que se puedan presentar.

Otra función esencial de los cálculos dentro del diseño, es que otorgan las especificaciones idóneas de los elementos que estarán sujetos a cargas o a esfuerzos, se puede lograr que una estructura mal ideada o sin un diseño estructural de respaldo cumpla con algunos requisitos de estabilidad, pero se verá afectada en que será una estructura anti-funcional y antieconómica.

La capacidad de realizar un sistema estructural es el fruto de las cualidades innatas, pero también el de la comprensión y asimilación de los conceptos teóricos y de la experiencia formada a través del tiempo. Pero ya sea la razón por la que se logró realizar dicho modelo es indispensable considerar tres aspectos fundamentales que son: la estructuración, el análisis y el dimensionamiento.

La estructuración, es la parte del diseño donde se determinarán con que materiales será elaborada la estructura, el arreglo de sus elementos y sus dimensiones y características más primordiales. Como se puede apreciar en las líneas anteriores, este es el aspecto fundamental de la estructura ya que si este no se realiza de manera adecuada puede ser de gran riesgo para todo el sistema.

El análisis, dentro de este rubro se incluye las actividades o sucesos que llevan a la determinación de las reacciones de la estructura ante las diferentes acciones externas que puedan provocar su estado límite de falla o de servicio. Para determinar los efectos que estas acciones puedan ocasionar en la estructura daños se requiere de lo siguiente:

- 1) Modelas la estructura; se refiere a idealizar la estructura real en un modelo factible, el cual pueda ser analizado por medio de procedimientos de cálculos disponibles. Lo que capta la recolección de datos como la propiedad elástica de materiales, el tipo de suelo en el que será cimentado, y las propiedades geométricas de secciones.
- 2) Acciones de diseño; por lo general, estas acciones son dadas por los manuales o reglamentos de diseño de cada estado o municipio ya que en cada uno de ellos se manejan valores muy diferentes en unos aspectos del diseño, como en sismos y velocidades del viento. En ocasiones en esta etapa se suele tener gran incertidumbre por la variación de las acciones que se puedan llegar a presentar.

- 3) Efectos de acciones de diseño; en este paso, se constituye en sí el análisis, determinando las fuerzas internas, momentos, fuerzas axiales y cortantes de la estructura.

El dimensionamiento; es la parte del diseño estructural donde se determina a detalle toda la estructura, y se corrobora que cumpla con los requisitos de seguridad mencionados en el reglamento de construcción del estado o municipio, para que después sean elaborados los planos y especificaciones de la construcción de la estructura.

En el proceso de diseño, se lleva a cabo también una serie de pasos o procesos unidireccionales, esto quiere decir que solo en una dirección pueden ser realizados, y el cual consta de primero imaginar la estructura, después se analiza y finalmente se dimensiona. Dentro de este proceso permite distinguir las siguientes etapas:

- a) Planteamiento de soluciones preliminares: se determina las funciones con las que la estructura debe cumplir y las restricciones que impone el entorno físico y otros aspectos del proyecto. En ocasiones se basa en comparaciones con proyectos semejantes, pero es aquí donde el estructurista tiene un papel muy importante.
- b) Evaluación de soluciones preliminares: esta es la etapa del pre-diseño, en la que se pretende definir las características esenciales en diferentes alternativas, esto con el fin de identificar posibles problemas y de poder hacer una estimación de los costos de las diferentes opciones a elegir.

- c) Diseño detallado: ya definida la opción más viable se detalla, eliminando posibles errores que pudieran aparecer, esto se logra recorriendo de nuevo las diversas etapas previamente mencionadas.
- d) Transferencia de los resultados de diseño: esta etapa esta referida a la forma de expresar y mostrar los resultados a los demás, llámense director general de obra, maestros albañiles, peones o usuarios, empleando planos o memorias de cálculo para lograrlo. Todo esto tiene como finalidad el resolver problemas que se puedan presentar durante el tiempo de ejecución de la obra.
- e) Supervisión: al igual que las etapas pasadas esta tiene mucha importancia ya que aún teniendo los planos bien definidos, los cálculos bien realizados, la supervisión se encarga de que todo lo que está en el papel se realice de forma adecuada, ya que sin una supervisión adecuada de la edificación se podría llevar a cabo acciones desfavorables para la construcción.

Lo que se puede observar de lo mencionado párrafos atrás, es que un proceso no puede ser más o menos importante que otro, ya que todos van de la mano porque si llega a haber un error en uno de ellos, no se tendría una construcción adecuada para los fines deseados.

### 1.2.1 Conceptos fundamentales.

Como se mencionó en subcapítulos anteriores, la estructura tiene como función absorber las solicitaciones que se presentan a lo largo de su vida útil a causa de su misma construcción. Esta debe soportar una serie de condiciones externas que le producen desplazamientos, deformaciones y daños en algunos casos, todas estas son formas de respuestas a dichas acciones. En la figura 1.1 se pueden observar las respuestas a dichas acciones.

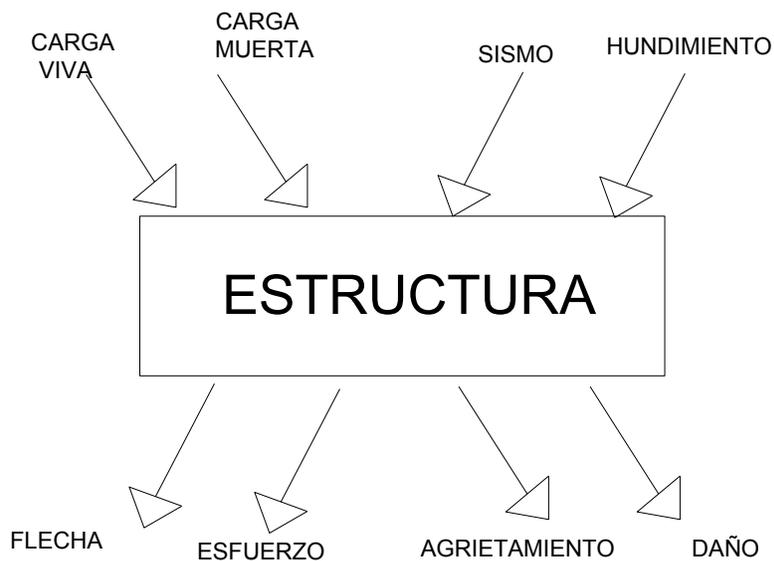


Figura 1.1 Representación esquemática del mecanismo acción-respuesta.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 56

Cuando se menciona que la construcción está sometida a acciones, se está refiriendo a las acciones como las cargas, o agentes externos que provocan en la

estructura esfuerzos internos y deformaciones, hundimientos de cimentación (estos ya previamente calculados), cambios volumétricos y empujes del viento.

Por otra parte, al hacer mención de la respuesta que da la construcción, se está refiriendo al comportamiento de la misma ante diversas acciones aplicadas o presentadas.

Como se ha citado en párrafos anteriores, la construcción debe cumplir con funciones para las que fue diseñada, por lo que es indispensable que las respuestas que la construcción presente se mantenga dentro de límites establecidos para que no afecte su correcto funcionamiento ni su estabilidad. En la figura 1.2 se puede observar si la respuesta es adecuada o inaceptable para la construcción, y de acuerdo a ello buscar una solución factible.

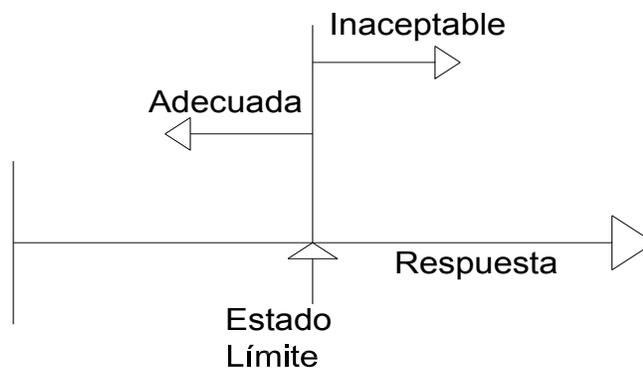


Figura 1.2 Respuesta del elemento

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 56

Se le denomina estado límite de una construcción o elemento a cualquier momento del comportamiento de la construcción o elemento del que a partir de su

respuesta se determina inaceptable. Dentro del estado límite se pueden encontrar dos casos; estado límite de servicio y estado límite de falla.

El estado límite de servicio según lo citado en Meli, Piralla (2008) se relaciona con todas aquellas situaciones que no ponen en peligro la seguridad de la estructura, pero si afectan el correcto funcionamiento de la misma.

El estado límite de falla son aquellas situaciones en la que la estructura sufre una falla parcial o total, o daños que eviten y/o afecten la capacidad de carga en la estructura y que no soporten la presencia de nuevas acciones. En la figura 1.3 puede apreciarse los tipos de estados límites y como se pueden presentar.

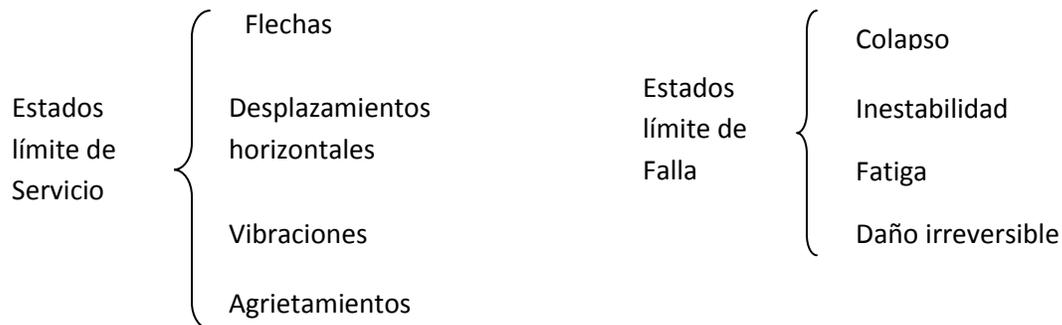


Figura 1.3 Tipos de estado límite.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 56.

En ocasiones, los estructuristas suelen concentrarse tanto en cumplir con los requisitos de seguridad que descuidan los de servicio y dan lugar a la aparición de situaciones que hacen inservible la estructura.

Una característica fundamental de las estructuras es que debe de contar con una resistencia, que se define como “la intensidad de la acción hipotética o combinación de acciones que conduce a la estructura a un estado límite de falla.” (Meli, Piralla, 2008, 58).

La resistencia de dicha estructura se basa en métodos analíticos y/o experimentales basados en los estudios de sus propiedades mecánicas y geométricas de la estructura.

### **1.3 Acciones.**

Las acciones son producidas por fenómenos físicos que generalmente se evalúa su efecto sobre la estructura por medio de fuerzas concentradas, lineales o concentradas que simulan los efectos de dichas acciones, por lo que la tarea del proyectista es la de determinar todas esas acciones que dañarían a la estructura diseñada.

La clasificación de las acciones se puede dar de diferentes formas, todo dependiendo de la forma en que actúan, la clasificación con base en la duración y la intensidad con la que se presentan. De acuerdo al reglamento del estado de Michoacán, se pueden distinguir los siguientes tipos de acciones:

- a) Acciones permanentes: se definen como acciones permanentes a todas aquellas que se presentan de forma permanente en la estructura y cuya intensidad no varía. Dentro de esta categoría se puede encontrar las

cargas muertas, el empuje estático de los líquidos, las deformaciones y los desplazamientos.

- b) Acciones variables: son todas aquellas acciones que no son constantes, que actúan sobre la estructura con una intensidad diferente con el tiempo, pero alcanzan valores altos en lapsos grandes de tiempo. Dentro de esta categoría se pueden encontrar las cargas vivas, los efectos de cambios de temperatura y los cambios volumétricos.
- c) Acciones accidentales: Son todas aquellas que pueden tomar valores significativos durante pequeñas fracciones de tiempo, y en esta clasificación entran las acciones por sismo, viento, nieve, oleaje y explosiones.

De la clasificación anterior, se puede decir que los tres tipos de acciones varían con el tiempo. Se podría pensar que las cargas muertas de que manera cambiarían ya que son por lo regular objetos, pero esto depende del uso y de la humedad que puedan adquirir, aunque no varía mucho la intensidad. En cambio las acciones variables o accidentales ya tienen un cambio de intensidad más marcado de acuerdo al tiempo. Esto es observable en la figura 1.4 en la que se pueden apreciar algunos ejemplos de la diversidad de intensidad en una misma acción:

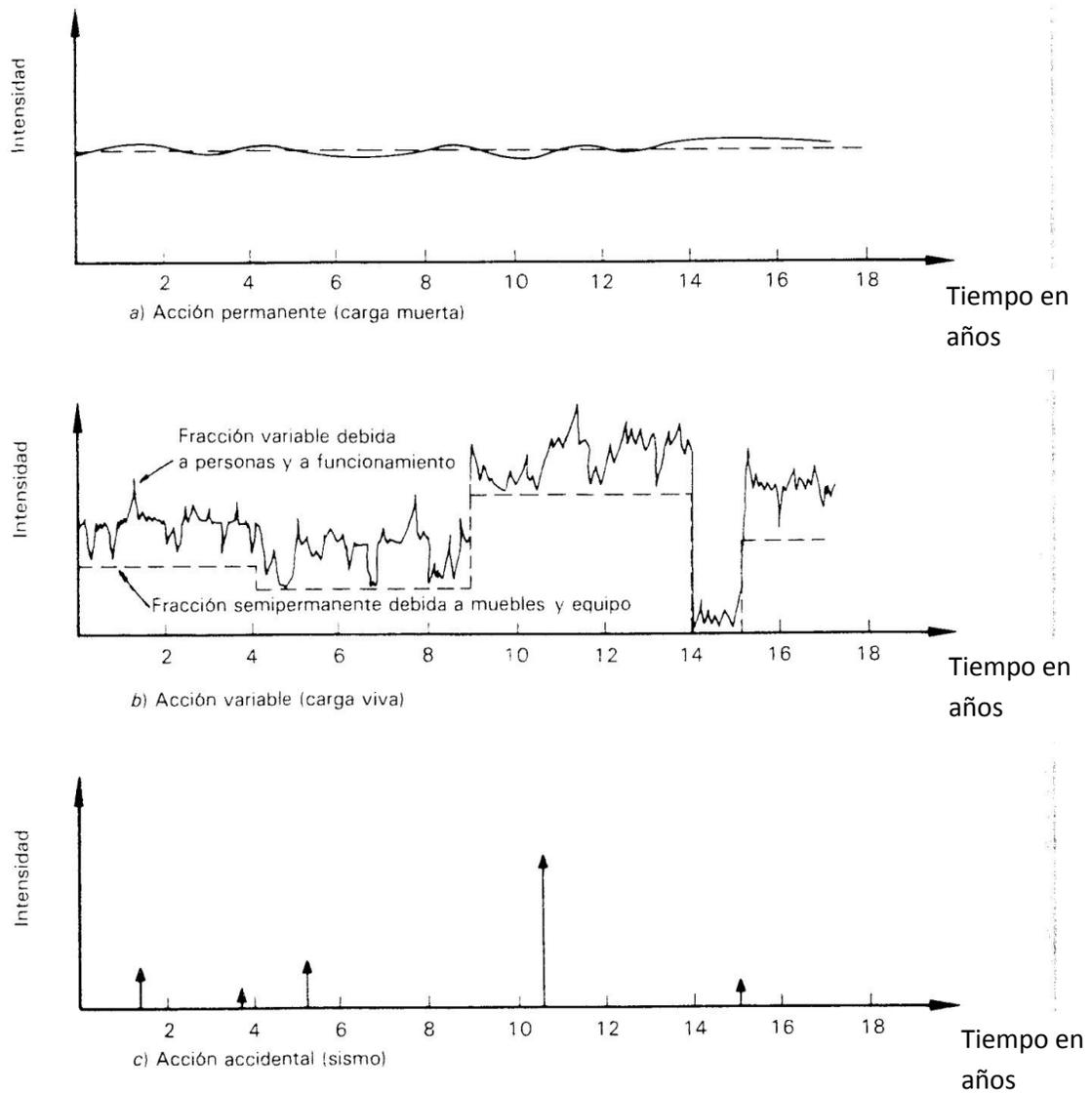


Figura 1.4 Variación con el tiempo de acciones permanentes, variables y accidentales.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 78.

Para todo proyectista los diferentes tipos de acciones, no son constantes, ya que no se tiene una certeza de que efecto causarán dichas acciones a la estructura en gestión.

“Aun conociendo con precisión la velocidad máxima del viento, no podría calcularse con exactitud su efecto en la estructura: el cálculo requiere un modelo teórico que relacione dicha velocidad con las fuerzas que se ejercen sobre la estructura. Los modelos que se emplean son necesariamente simplistas. Consisten generalmente en considerar un empuje uniforme por unidad de área expuesta al viento, y pueden existir diferencias importantes entre el efecto predicho y el que realmente produce un viento de características conocidas.” (Meli, Piralla, 2008, 79).

Siempre se debe de considerar la incertidumbre de las acciones dentro de todo diseño y/o cálculo de estructuras o edificaciones, por lo que todos los reglamentos de construcción de los diferentes estados y municipios, especifican valores de diseño que son conservadores, o es decir, valores cuya probabilidad de ser excedidos es pequeña.

Los valores para las cargas variables, son determinados por medios de experimentos y la mayor parte de las veces por la experiencia adquirida a lo largo del tiempo. Ya sea por las fallas que tuvieron otras edificaciones o experiencias laborales de los codificadores. El proyectista debe de tener conocimientos de todas las cargas actuantes en su diseño, ya que algunas de ellas pueden no estar especificadas en los reglamentos.

Para el tratamiento adecuado del tema de seguridad estructural, es de vital importancia que todas las acciones o cargas actuantes, estén determinadas por medio de un criterio racional y coherente, de manera que todo el grado de seguridad aplicado en las estructuras sea uniforme.

Para algunas construcciones de importancias inusuales, se suelen exigir estudios específicos de estadística y probabilidad de ocurrencia, para determinar la acción de diseño más adecuada.

Durante todo el tiempo de vida útil de la construcción, se presentarán acciones simultáneas. Los reglamentos indican la revisión de la seguridad estructural para un efecto combinado de dichas acciones, pero solo de aquellas que tengan una posibilidad no despreciable de presentarse al mismo tiempo.

Según con lo mencionado en Meli, Piralla (2008), se tiene entendido como combinación de acciones de diseño al conjunto de acciones para que su efecto superpuesto deba revisarse la seguridad estructural. Mientras mayor sea el número de acciones que intervengan dentro de una combinación, menor será la posibilidad de que todas las variables adquieran sus valores máximos.

Dependiendo de los tipos de acciones que intervengan en la combinación, se clasifican en dos tipos:

- a) Combinaciones comunes: son todas aquellas que solo las componen acciones permanentes y acciones variables.
- b) Combinaciones excepcionales: son aquellas que se presentan además de acciones permanentes y variables, las acciones accidentales.

Según el Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, las combinaciones comunes estarán integradas por:

- a) Todas las acciones permanentes.

- b) Una acción variable con su valor máximo.
- c) Otras acciones variables que tengan una probabilidad no despreciable de suceder simultáneamente con la primera, pero tomando solo su componente semipermanente.

En las combinaciones excepcionales se tomarán en cuenta:

- a) Todas las acciones permanentes.
- b) Una sola acción accidental.
- c) Las acciones variables que tienen una probabilidad no despreciable de estar presentes en el momento en que ocurre la acción accidental.

Se observa que no debe de incluirse más de una acción accidental en la misma combinación, ya que la probabilidad de este fenómeno es casi imposible. En todas las construcciones de carácter común las acciones se engloban en las siguientes:

- a) La carga muerta, como única acción permanente.
- b) La carga viva, como única acción variable.
- c) Los efectos de sismo o viento, como posibles acciones accidentales.

En algunos reglamentos, cuando se presenta una combinación de acciones excepcionales, no se reduce el valor de la acción variable, si no que se aumenta el valor de seguridad para considerar así una probabilidad menor de que se presente ese valor junto con una carga accidental.

Si el número de acciones presentadas es mayor y la probabilidad de la presencia simultánea de acciones accidentales, el proyectista deberá evaluar con cautela las condiciones de operación, y ambientales de dicha construcción y así deducir las acciones que deben formar combinaciones y sus valores.

### **1.3.1 Carga muerta.**

Se le denomina carga muerta a todas las acciones que son producidas solamente por el mismo peso de la construcción, como lo son muros, revestimientos, la cancelería, ventanería y todos aquellos objetos que conserven una posición fija en la construcción. También dentro de la carga muerta son considerados los muebles, tanto de decoración como sanitarios, y todos los objetos fijos que generen un peso por muy pequeño que sea.

Para obtener o calcular la carga muerta que se presenta en una construcción, es de manera muy fácil, ya que solo se determinan los volúmenes de los distintos componentes de la construcción y la multiplicación por los pesos volumétricos de los mismos. Casi siempre las cargas muertas son consideradas como cargas uniformemente distribuidas, con excepción a los muebles, ya que estos son considerados como cargas puntuales.

Es muy común dentro de la construcción, que se piense que las cargas muertas se calculan con mucha exactitud, pero la verdad es que no suelen ser tan exactas como se piensa, ya que hay muchos factores que pueden influenciar en este cálculo, ya sea por no tener un plano arquitectónico bien detallado hasta que en la

construcción no se realicen los elementos de las dimensiones ya especificadas en el plano arquitectónico.

Una de las diferencias de la carga muerta, se presenta en la variación del peso volumétrico de los materiales, en el contenido de humedad y el procedimiento de fabricación. Ya que según lo citado por Melli, Piralla (2008), todas estas variaciones son significativas cuando se presenta una diferencia entre materiales no industrializados o materiales naturales.

En casos no muy comunes, la carga muerta se considera como favorable en la estabilidad de la estructura, o en la presencia de fuerzas que puedan ocasionar un volteo o un empuje. Por ello en el reglamento del estado de Michoacán especifica dos valores de pesos volumétricos, el mayor o máximo utilizado para efectos de carga muerta desfavorable y el mínimo para efectos de carga muerta favorable. En la tabla 1.1 se muestran los pesos volumétricos máximos y mínimos para ciertos materiales.

Los materiales menos comunes para la construcción o simplemente no incluidos en el Reglamento de Construcción del estado de Michoacán se presentan en la tabla 1.2 que se muestra enseguida.

MATERIALES		PESO VOLUMÉTRICO EN		MATERIALES		PESO VOLUMÉTRICO EN	
		Ton/M <sup>3</sup>				Ton/M <sup>3</sup>	
		MÁXIMO	MÍNIMO			MÁXIMO	MÍNIMO
1.- Piedras naturales				IV.- Maderas			
Arenosas		2.5	1.8	a) Pesadas			
Basaltos		2.6	2.4	Tropicales (chicozapote,	seco	1.3	0.85
Caliza	seca	2.8	2.4	pucté)	saturada	1.5	1
Granito		2.6	2.4	Encino blanco	seco	1.1	0.5
Marmol		2.8	2.5		saturado	1.3	0.85
Pizzarras		2.8	2.3				
Tepetates	secos	1.6	0.75	b) Medianas			
	saturados	1.9	1.3	Tropicales (pelmax,	seca	0.95	0.7
Tezontles	secos	1.2	0.7	chacouante, aguacatillo,	saturada	1.1	0.8
	saturados	1.6	1.4	Encino rojo	seco	1	0.75
					saturado	0.95	0.65
				c) Livianas			
				Tropicales (maculis, bari,	saca	0.75	0.45
				pasa'k, amapola,			
				primavera, hava,ade)	saturada	0.85	0.5
				Pino	seco	0.65	0.5
					saturado	0.9	0.6
				Oyamel, cipres, sabino,	seca	0.65	0.4
				enebro, purabete	saturada	0.75	0.5
2.- Suelos				V.- Recubrimientos			
	seca, suelta	1.7	1.4			Pesos en kg/m <sup>2</sup> no incluye material de unión	
Arena o grava	seca, compacta	1.9	1.6			Máximo	Mínimo
	saturada	2	1.8	Aulejo		15	10
	Arcilla del valle de México en su condición normal	1.4	1.2	Mosaico de pasta		35	25
Arcilla	seca	1.2	0.8	Granito o terrazo de	20x20	45	35
Limo	suelto, humedo	1.3	1		30x30	55	45
Limo	compact, humedo	1.6	1.3		40x40	65	55
Arcilla con grava compactados		1.7	1.4	Loseta asfáltica o vinílica		10	5
Rellenos compactados	seco	2.2	1.6	Lámina de asbesto	5mm	10	5
	saturado	2.3	2	Madera contrachapada	6mm	4	2.5
Cascajo		1.6	1.2	Tablero de yeso	12mm	14	11
				Tablero de viruta cementada	38 mm	30	20
				Cielo raso con malla y yeso	25mm	60	40
				Plafon acústico	25mm	7	4
				Aplanado de cemento	25mm	85	50
				Aplanado de yeso	25mm	50	30
				Enladrillado	20mm	40	30
3.- Piedras artificiales				VI.- Muros			
Concretos y morteros						Peso sin incluir recubrimientos kg/m <sup>2</sup>	
Concreto simple (agregados peso normal)	clase I	2.3	2.1			Máximo	Mínimo
	clase II	2.1	1.9	Tabique barro hecho a mano	14cm	240	190
Concreto reforzado (agregados peso normal)	clase I	2.4	2.2	Bloque hueco concreto pesado	15cm	210	190
	clase II	2.2	2	Bloque hueco concreto ligero	15cm	150	130
Mortero cal y arena		1.8	1.5	Tabique concreto ligero macizo	15 cm	250	220
Mortero cemento y arena		2.1	1.9	Tabique concreto pesado	15cm	310	280
Tabique barro hecho a mano		1.5	1.3	Tablaroca (1.25cm de yeso ambas caras)		50	40
Tabique prensado o extruido (volumen neto)		2.1	1.6	VII.- Materiales diversos		Peso volumétrico típico (Ton/m <sup>3</sup> )	
Bloque de concreto tipo pesado (volumen neto)		2.1	1.9	Vidrio		2.6	
Bloque de concreto tipo intermedio (vol neto)		1.7	1.3	Yeso		1.1	
Bloque de concreto tipo ligero (volumen neto)		1.3	0.9	Asfalto		1.3	
Mamposterías de piedras naturales		2.5	2.1	Acero		7.9	
				Aluminio		2.7	

Tabla 1.1 Valores de diseño de materiales según el reglamento de Michoacán.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 130.

MATERIAL	PESO VOLUMÉTRICO EN Ton/m <sup>3</sup>	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Aluminio	2.75	2.55
Fierro fundido	7.9	7.6
Acero	7.85	
Vidrio	2.6	2.4
Papel	1.15	0.7
Cemento	1.45	
Cal y yeso	1.02	0.85
Asfalto	1.5	1.1
Petróleo	0.87	
Gasolina	0.69	0.66

Tabla 1.2 Pesos de otros materiales comunes no definidos en el reglamento del estado de Michoacán.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 130.

### 1.3.2 Carga viva.

Es denominada carga viva a toda aquella carga debida a la operación y uso de la construcción. Se encuentran incluidas todos aquellos objetos que no tengan un lugar fijo dentro de la estructura, por lo general estas cargas son utilizadas para personas y maquinaria o equipo que estén en un cambio de lugar constante.

Todas las cargas de operación dentro de una edificación se encuentran constituidas por la suma de diferentes factores de carácter variable conforme a su distribución en el espacio y en el tiempo.

Las cargas vivas utilizadas para diseñar, son solamente para postular una condición de operación lo bastante desfavorable para que la probabilidad de que se presente un caso más crítico se pequeña y determinar después una carga uniforme equivalente a la acción real.

Como se citaba en el párrafo anterior, las cargas vivas se utilizan dependiendo de la combinación de cargas a revisar:

1. Para su superposición con las cargas permanentes, interesa la carga viva máxima, por lo que se refiera a la máxima intensidad que esta pueda adquirir a lo largo de la vida útil de la estructura.
2. Para su superposición con una carga accidental, interesa la carga viva instantánea, lo que se refiere a al valor que pueda adquirir en un instante cualquiera dentro de la vida útil de la estructura.
3. Si lo que se busca es obtener resultados a largo plazo, lo adecuado es diseñar con la carga viva media, así para conocer las deformaciones y hundimientos de la estructura.
4. En ciertos casos en que las cargas gravitacionales sean favorables a la estructura, se tomará la carga viva mínima, y esta debe de tomarse siempre igual a cero.

“La intensidad de la carga viva en cualquiera de las tres modalidades descritas depende esencialmente de dos factores: el destino del área sobre la que actúa y el tamaño de esta área.”(Meli, Piralla; 2008: 133).

Las cargas vivas también se encuentran contempladas en los reglamentos, por lo que a continuación se mostrará la tabla 1.3 donde se muestran los valores de las cargas vivas en los diferentes países, por lo que se podrá observar una pequeña discrepancia entre ellos, ya que no se fijaron con un criterio en común.

Destino del piso	México	U.S.A.	URSS	Japón	Alemania	G. Bretaña
	RCDF	ANSI-81	SNIP-74	AIJ	DIN-61	CP3-67
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
Lugar de reunión con asientos fijos	350	293	400	300	500	408
Lugares de reunión sin asientos fijos	450	488	500	360	500	510
Terrazas y balcones al exterior	300	488	400	300	500	153
Garajes para automóviles	250	244	-	550	350	255
Comercios	>350	488(366)	400	300	500	408
Todas las cargas en kg/m <sup>2</sup>						

Tabla 1.3 Cargas vivas para edificios según diversos reglamentos.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 137.

### **1.3.3 Viento.**

Toda obra deberá revisarse ante el efecto producido por el viento, ya sean estas de succión o de empuje, sobre todas las superficies de la construcción expuestas a él, y que son transmitidas al sistema estructural.

En la revisión se deberá de considerar la acción estática del viento y la acción dinámica, siempre y cuando la estructura sea sensible a estos efectos.

El Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, nos indica que deberá realizarse un diseño local de los elementos de forma particular, siempre y cuando estén expuestos de forma directa a la acción del viento, tanto como todos aquellos que formen parte del sistema estructural como los que sean de revestimiento solamente.

De acuerdo a su importancia, las construcciones son clasificadas de dos tipos, como se muestra en seguida:

1. Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural genera un peligro significativo por albergar sustancias tóxicas o explosivas, donde se alojen documentos o archivos públicos importantes y edificaciones que su funcionamiento sea esencial a raíz de una emergencia urbana.
2. Grupo B: Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas, hoteles, entre otros.

Según su respuesta ante dicha acción también se clasifican de la siguiente manera:

1. Tipo 1: Son todas aquellas edificaciones cuyo periodo de vibración es menor a 0.7 segundos. Dentro de este género se consideran las casas, hasta edificios de 7 pisos.
2. Tipo 2: Son edificaciones sensibles a efectos dinámicos del viento y sus periodos de vibración oscilan entre 0.7 y 2 segundos. Las edificaciones que entran en este tipo son aquellas de 8 a 20 pisos
3. Tipo 3: Estas edificaciones también tienen un periodo de vibración entre 0.7 y 2 segundos, pero la diferencia es que en este lapso de tiempo hay apariciones de vórtice. Dentro de este tipo se consideran las torres y las chimeneas.
4. Tipo 4: Son construcciones cuyo periodo es mayor a 2 segundos, en las cuales se pueden presentar inestabilidad aeroelástica, generalmente son edificaciones de más de 20 pisos de altura.

En todo diseño por viento, se deberá tomar en cuenta aquellos efectos que puedan ser importantes tales como:

- a) Empujes y succiones estáticos.
- b) Fuerzas dinámicas paralelas y transversales al flujo principal, causadas por turbulencia.
- c) Vibraciones transversales al flujo causadas por vórtices alternantes.

d) Inestabilidad aeroelástica.

#### **1.3.4 Sismo.**

Según con lo citado en el Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán (RCEM), las estructuras serán analizadas bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno.

Dentro del análisis, se tendrá en cuenta la contribución a la rigidez de todo elemento estructural o no, siempre y cuando sea significativa. Con las salvedades se calcularán las fuerzas sísmicas, deformaciones y desplazamientos laterales de la estructura incluyendo el giro por torsión y la fuerza cortante.

Se verificará que tanto la estructura como su cimentación, no rebase ningún estado límite de servicio o de falla, a los que hace mención dicho reglamento. Lo anterior debe de resistir las fuerzas por torsión, cortante, momentos de volteo inducidos por sismo, combinados con los que correspondan a otras sollicitaciones y afectados por un factor de carga.

#### **1.4 Resistencia.**

“La resistencia de una estructura se determina mediante procedimientos analíticos basados en el conocimiento de las propiedades geométricas de la estructura y mecánica de los materiales que la componen. El cálculo de la resistencia consiste en la determinación de la fuerza interna que produce algún estado límite.”

( Meli, Piralla; 2008: 88).

La fuente de mayor incertidumbre en la resistencia de una estructura, se encuentra en la variabilidad de los materiales que la compone. En caso del concreto la cantidad de agregados que debe llevar y la cantidad que se le es colocada. En estructuras de acero, no se presenta esa incertidumbre ya que el proveedor garantiza una resistencia del acero adquirido, esto siempre y cuando no sea modificado en dimensiones.

### **1.5 Reglamentos de diseño.**

“El reglamento para el diseño de estructuras son documentos legales que tienen como función proteger a la sociedad contra el colapso o mal funcionamiento estructural de las construcciones. El grado de protección que puede lograrse no es absoluto, si no debe ser óptimo en el sentido de que sea congruente con las consecuencias de las posibles fallas y con el costo de incrementar la seguridad. ”  
(Meli, Piralla; 2008: 101).

Según lo mencionado por Meli, Piralla (2008), los reglamentos por lo general son redactados por comités de especialistas en diferentes áreas y revisados por personas e instituciones interesadas, como productores, constructores entre otros.

A pesar de ser elaborados por personas que se desenvuelven dentro del mismo ámbito, los criterios deberían de ser relativamente similares pero no lo son, pues la práctica y los distintos materiales dependiendo del lugar son diferentes.

Aún con lo anterior, es responsabilidad de los redactores de cada estado, entidad, ciudad o país de fijar niveles de seguridad adecuados para los distintos tipos de estructuras. Las consideraciones probabilísticas cada vez más toman un papel muy importante, al menos en lo que respecta a la formulación de niveles de seguridad para algunos casos no usuales.

Al igual que cada país, estado o ciudad tiene su reglamento, los materiales y/o estructuras también en los que se encuentran el ACI para estructuras de concreto, el AASHTO para el diseño estructural de puentes y el UBC para el proyecto de edificios en general.

### **1.6. Requisitos de servicio.**

Al principio de este capítulo se estableció que después de la seguridad estructural adecuada contra la falla, el segundo objetivo del diseño estructural era el de lograr un comportamiento adecuado en condiciones normales de trabajo de la estructura y también ante ciertas acciones accidentales.

Una de las funciones de los requisitos de servicio es el de proteger a la estructura contra la posibilidad de que se presenten deformaciones de la estructura que generen daños significativos. Los daños de segundo orden son producidos por las fuerzas internas adicionales que se presentan por efecto de cargas externas.

Conforme pasa el tiempo y se van innovando cada vez más en los tipos de materiales y diseños mas atrevidos, ha aumentado los requisitos de servicio, esto

implica que desde el punto de vista de la resistencia se pueden emplear secciones menores en los elementos estructurales. Por lo tanto, si antes era suficiente revisar que los esfuerzos bajo las cargas estuvieran alrededor de la mitad de los de la fluencia ahora ya no es aceptable.

Siempre en el diseño se tienen deformaciones o hundimientos permisibles, los cuales son calculados por el calculista de una forma controlada, pero si estas deformaciones o hundimientos llegan a sobrepasar el límite ya establecido o calculado se presentan fallas y más si sobre la estructura que está fallando se encuentran materiales frágiles a esas fuerzas, tal como se muestra en la figura 1.5 que muestra los tipos de agrietamientos por diferentes fallas.

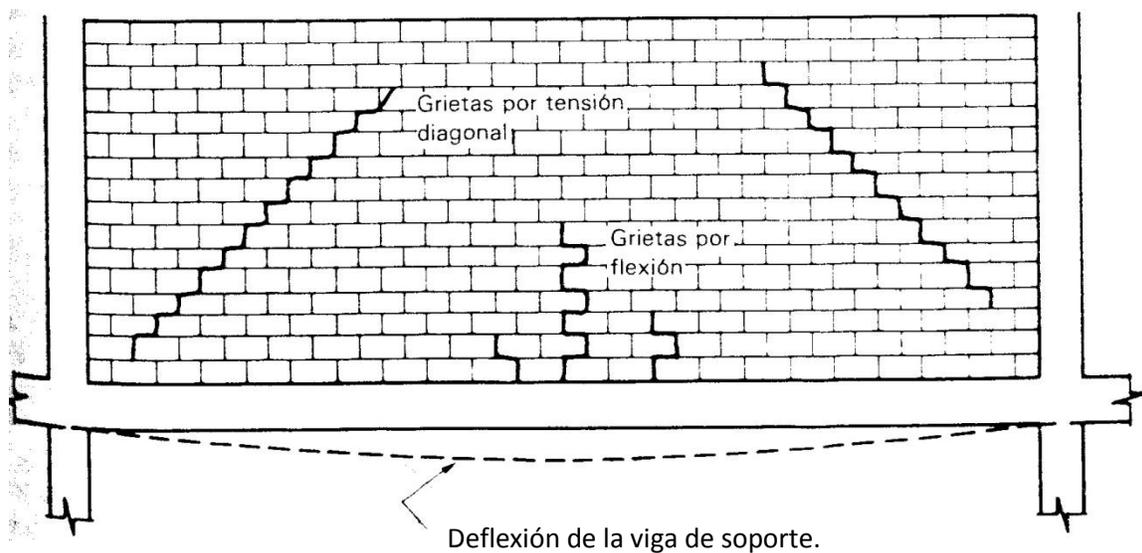


Figura 1.5 Agrietamiento típico en un muro divisorio por deflexión excesiva.

Fuente.- Meli, Piralla; 2008: 117.

## **CAPÍTULO 2**

### **EL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL.**

En el presente capítulo, se abordarán temas tales como desarrollo histórico del acero, desde qué tiempo se ha utilizado para la construcción, el acero como material estructural, qué características tiene, sus ventajas y desventajas en la construcción. Además de otros temas de igual importancia para los interesados en este tema.

#### **2.1 Desarrollo histórico.**

En la antigüedad la construcción y el diseño estructural no presentaban ningún cambio o modificación, pues eran insuficientes los conocimientos que se tenían sobre los materiales utilizados o de la teoría a utilizar. Por ello el éxito o fracaso de cada obra se determinaba si ésta soportaba la carga que se le aplicaba continuamente.

Según lo citado por Bruce G. Johnston et. al. (1997), se dice que el primer puente elaborado con hierro colado fue durante 1779 en la ciudad de Coalbrookdale en Inglaterra, y que aún se encuentra en pie. Después de este grandioso avance aunque peligroso, ya que su falla era frágil y no presentaba deformaciones antes de su ruptura, se elaboraron perfiles de hierro, esto hasta 1783, lo cual produjo cambios rápidos.

Entre los puentes de hierro forjado más sobresalientes se tiene el Britannia Bridge a través de los Menai Straits del Irish Sea. El cual está formado por travesaños en cajón gemelas paralelas que son continuas en cuatro claros. El primer puente de acero estructural importante fue el Eads Bridge que atraviesa Mississippi, el cual fue terminado en 1874.

Conforme se fue mejorando y avanzando en el uso del hierro y el acero, se presentaron de igual manera progresos en las pruebas de los materiales de construcción y análisis estructurales que permitieron el avance del diseño estructural en acero.

En el año de 1660 Hooke, demostró que la carga y la deformación de un material, es directamente proporcional. En el año de 1705 Bernoulli introdujo al campo de estudio el concepto de que la resistencia de una viga en flexión es proporcional a la curvatura de la viga, pero no es hasta 1744 que Euler determinó la curva elástica de una columna esbelta sujeta a carga de compresión.

Dentro de las evoluciones más importantes del siglo pasado, se encuentra la elaboración de instrumentos mecánicos para medir las deformaciones presentadas durante los estudios que hicieron posible la determinación del módulo de elasticidad que relaciona el esfuerzo con la deformación.

Estos descubrimientos, hicieron posible el desarrollo de nuevas especificaciones en torno al método de esfuerzos permisibles. En el año de 1905 se determinó la primera especificación general para puentes ferroviarios de acero, y en 1931 la primera especificación para puentes carreteros.

El AISC decretó en 1923, la primera especificación para edificios. En cada una de las especificaciones anteriores, el criterio para una resistencia aceptable de diseño es; los esfuerzos máximos calculados, suponiendo un comportamiento elástico, se debe de mantener menor que un esfuerzo permisible especificado.

Dentro de los últimos 40 años se ha dedicado una atención creciente al incremento de las propiedades inelásticas de los materiales y al cálculo directo de la resistencia última de algunos materiales. Todas estas observaciones, son importancia para el mejoramiento del procedimiento de resistencia última.

Durante los 80's, los métodos estructurales de diseño, pasaron por cambios de alta velocidad, de manera que se tenían diferentes métodos de diseño, ya que Estados Unidos utilizaba el método de diseño por factor de carga y resistencia, Canadá utilizaba el diseño por estados límites.

Dentro de esta década, se comenzó a emplear la computadora dentro de los aspectos de diseño al igual que la distribución general, el análisis y la producción de planos de diseño detallados.

## 2.2 Acero estructural.

Para poder determinar si un material es adecuado para su futuro uso, se deben conocer sus características elásticas, inelásticas, de fractura y fatiga del mismo, ya que si no se tiene previo conocimiento de estos aspectos antes de determinar el material en una estructura, podría sufrir daños por las cargas aplicadas.

Es necesario tener el conocimiento de en qué consiste cada aspecto a evaluar de un material por lo que se definirán a continuación dichos aspectos.

- 1) **Elasticidad**; De acuerdo a diferentes autores se llegó a la conclusión de que la elasticidad de un material es toda capacidad para regresar a su forma original después de ser cargado y descargado.
- 2) **Fatiga**; Este fenómeno se presenta cuando se le aplican esfuerzos de forma repetida por encima de su límite de tenacidad, durante muchos ciclos de carga y descarga.
- 3) **Tenacidad**; Es la capacidad de un material para oponerse a la ruptura, doblez o ruptura por una fuerza externa.
- 4) **Ductilidad**; Se determina como ductilidad a la capacidad de un material para deformarse sin ser fracturado en el rango inelástico.

“En el acero, cuando se carga en un estado de esfuerzos de tensión simple, se representa un punto de fluencia muy definido en un esfuerzo ligeramente mayor que el del límite elástico. Cuando se carga más allá del punto de fluencia, la ductilidad del acero estructural le permite experimentar alargamientos inelásticos grandes. Por último, se alcanza la resistencia última de ruptura y el espécimen se fractura. La

carga de tensión en la fractura, dividida entre el área original del espécimen sin carga, se denomina resistencia última de tensión.” (Bruce G. Johnston et. al.; 1997; 4). Las propiedades mecánicas de un acero estructural son descritas por su ductilidad, resistencia y otras cualidades se dan en términos del comportamiento en una prueba de tensión simple, y las gráficas que se generan son las mostradas a continuación en la figura 2.1:

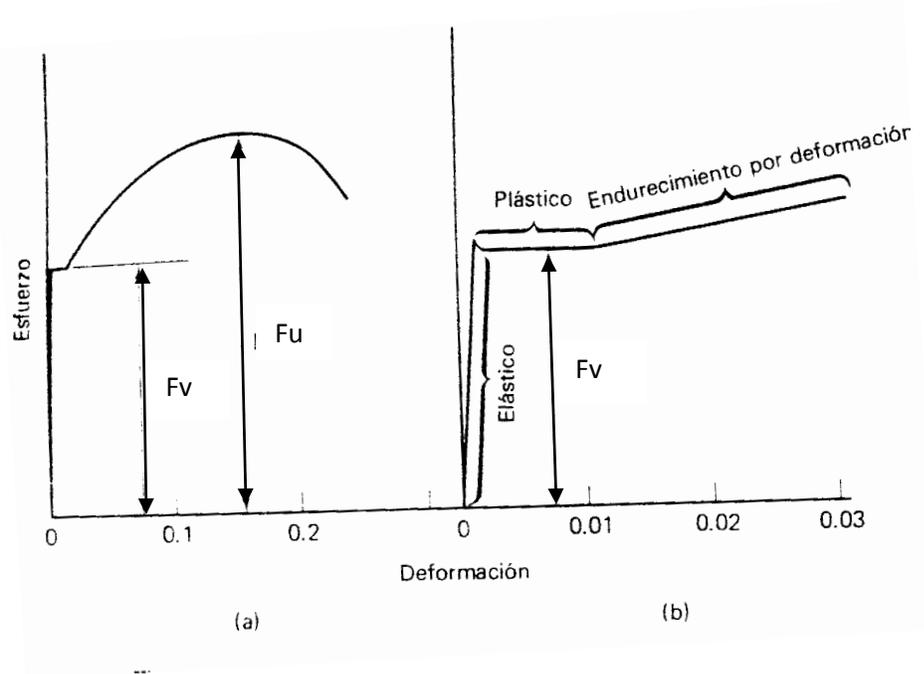


Figura 2.1 Curvas típicas del esfuerzo-deformación de una prueba de tensión de acero estructural.

Fuente.- Bruce G. Johnston et. al.; 1997; 6.

Los aceros estructurales son únicos por su tenacidad, pues aún después de que principia el su rango de endurecimiento, el esfuerzo sigue incrementándose y la deformación sigue siendo uniforme hasta el punto de que llega a la carga máxima.

La capacidad del acero para soportar grandes deformaciones sin presentar fracturas, también le ayuda a soportar una fluencia local durante su fabricación y dentro de la construcción, esto hace posible que dicho material pueda ser cortado, doblado y golpeado sin que se presenten daños visibles.

Es trabajo del diseñador es determinar los perfiles a utilizar dentro de la armadura o estructura, que estos cumplan con la capacidad de carga a la que serán sometidos.

### **2.2.1 Aceros estructurales disponibles.**

De acuerdo con lo citado con Frederick S. Merritt et. al. (1997) en el Manual del Ingeniero Civil, todos los aceros estructurales, se encuentran divididos en 4 categorías, estas se clasifican dependiendo de la composición química y tratamiento térmico, las cuales son las mencionadas a continuación;

- 1) **Aceros al carbono.-** Todos estos aceros son los que contienen a lo máximo un 1.65% de manganeso, 0.60% de silicio y un 0.60% de cobre, los cuales no tienen una cantidad mínima solo límite máximo. Estos tipos de aceros se encuentran disponibles en láminas, varillas y perfiles estructurales. Algunos de estos aceros tienen niveles de resistencia indicados con las letras A, B, C y D, los cuales cuentan con un punto de fluencia diferente. Dependiendo del uso del acero son las clasificaciones y tipos del mismo.
- 2) **Acero de baja aleación y alta resistencia.-** Estos aceros obtienen su resistencia gracias a la adición de pequeñas aleaciones más que por su

tratamiento de calor. La resistencia a la corrosión de estos tipos de aceros es 4 veces mayor a la de los aceros al carbono. Un acero de alta resistencia es aquel que contiene una baja aleación, la cual reduce su costo y peso.

3) **Aceros de alta resistencia y al carbono tratado térmicamente, de baja aleación.-** Esta clasificación de aceros la componen los aceros de alta resistencia y los aceros al carbono, todos estos tienen baja aleación y son tratados térmicamente para mejorar las propiedades mecánicas.

4) **Aceros de aleación constructiva, tratados con calor.-** Los integrantes de esta clasificación están tratados a base de calor con contenidos de aleación y son recomendables para aplicaciones estructurales.

De acuerdo con estas clasificaciones, se creó una tabla en la cual se pueden encontrar los diferentes tipos de aceros, dentro de la misma también definen los espesores, el peso, los puntos de fluencia y la resistencia a la tensión, dicha tabla se muestra a continuación:

Designación de la ASTM	Tipo de acero	Formas	Usos recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia <sup>a</sup> Fy en Klb/pulg2	Resistencia especificada mínima a la tensión <sup>b</sup> , Fu= en Klb/pulg2
A36	Al carbono	Perfiles barras y placas	Puentes, edificios y otras estructuras atornilladas, soldadas o remachadas	36 pero 32 si el espesor es mayor de 8 pulgadas	58-80
A529	Al carbono	Perfiles placas hasta 1/2 pulg.	Similar al A36	42	60-85
A441	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles placas y barras hasta 8 pulg.	Similar al A36	40-50	60-70
A572	De alta resistencia y baja aleación	Perfiles placas y barras hasta 6 pulg.	Construcciones atornilladas soldadas o remachada. no para puentes soldados de los Fy>55	42-65	60-80
A242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Perfiles placas y barras hasta 4 pulg.	Construcciones atornilladas soldadas o remachada; técnica de soldado muy importante	42-50	63-70
A588	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	placas y barras	Construcciones atornilladas y remachadas	42-50	63-70
A514	Templado y revenido	Placas solo hasta 4 pulgas	Estructuras soldadas con mucha atención a la técnica empleada; no se use si la ductilidad es importante	90-100	100-130

Tabla 2.1 Propiedades mecánicas de los aceros.

Fuente.- McCormac (1999:16)

### **2.2.2 Curva esfuerzo-deformación del acero estructural**

Según lo citado por McCormac (1999), la gráfica de esfuerzo-deformación muestra valores de gran importancia e interés para el calculista, ya que gracias a esta gráfica puede observar el comportamiento del acero a utilizar con ciertas características. Como es de suponerse, al aplicarle una fuerza de tensión a un acero, este comenzará a alargarse y llegará un punto en el que el aumento en el alargamiento será considerable sin la necesidad de aumentar el esfuerzo.

Como se muestra en la figura 2.1 de la página 38, el límite elástico es el mayor esfuerzo que puede cualquier material antes de que este se deforme y sea imposible volver a su estado natural, este esfuerzo generalmente no es medido pero cada material tiene un límite diferente.

El esfuerzo por fluencia, es otro dato importante que muestra la tabla, este consiste en la carga o esfuerzo que se le puede aplicar al acero antes de que presente grandes deformaciones.

Dicho esfuerzo es el de mayor importancia para el calculista, ya que la mayor parte de procedimientos para diseñar utilizan este valor.

Una vez mencionado y entendido el límite elástico, se puede definir a la deformación plástica como aquella deformación presentada después del esfuerzo de fluencia y en esta etapa, el material no vuelve a su estado original. La deformación plástica equivale aproximadamente a 10 o 15 veces la deformación elástica.

Después de la deformación plástica, se presenta otra región, la cual es denominada endurecimiento por deformación, en esta región el acero se vuelve más resistente por lo que requiere de mayor carga para seguir deformándose y por ende aún más carga para fallar.

### **2.3 Ventajas del acero estructural**

De acuerdo con lo mencionado por McCormac (1999), el acero como material estructural es uno de los más versátiles de todos los materiales utilizados en la construcción, ya que tiene una resistencia muy grande a esfuerzos externos en comparación con otros materiales, tiene un peso muy bajo y es muy fácil de conseguir.

El acero tiene una gran resistencia por unidad de área, lo que traducido a peso, la estructura se vuelve más liviana y puede cargar más, lo que resulta muy conveniente en la construcción de grandes claros, edificios muy altos, puentes, entre otros donde no se cuenta con una resistencia del suelo muy favorable.

Otra de las ventajas del acero es su gran elasticidad, pues entre más carga recibe este material se estira cada vez más sin presentar agrietamientos ni rasgaduras.

La uniformidad es la característica de los materiales, en este caso el acero, de no cambiar con el tiempo, como lo hace el concreto.

Otra muy famosa característica del acero, es su ductilidad, ya que es una de las características más importantes, si no que la más importante del acero, y esta consiste en resistir grandes deformaciones sin que se presente la falla, todo esto bajo esfuerzos de tensión. El contenido de carbono en el acero, hace que éste presente diferentes propiedades, los aceros con un bajo contenido de carbono alargan el punto de falla mientras que los aceros con alto contenido de carbono se vuelve más frágil pero a su vez tiene mayor dureza.

Dentro de la ductilidad, también está la característica de que al presentarse una sobrecarga, se presentan grandes deflexiones antes de que el acero falle.

Otra característica importante del acero es la durabilidad, ya que esto se ve reflejado en lo económico, por lo que debe ser tomado muy en cuenta. Si se le da un correcto mantenimiento al acero, este material es capaz de durar por un tiempo indefinido.

La tenacidad es una característica con la que cuenta el acero, y esta consiste en tener resistencia y ductilidad, ya que todo elemento de acero al ser cargado y presentar deformaciones, sigue teniendo la capacidad de soportar dichas cargas.

La rapidez del montaje, la facilidad de elaboración, la resistencia a la fatiga y en determinados casos la posibilidad de desmontarse, son otras ventajas de la construcción en acero.

## **2.4 Desventajas del acero estructural**

Según lo mencionado por McCormac (1999), la fatiga es una desventaja en el acero, ya que la resistencia de este material puede reducirse de manera considerable si se invierte el esfuerzo de tensión aplicado.

El acero puede presentar fallas por pandeo, esto debido a que los elementos entre más largos y esbeltos sean sometidos a cargas de compresión y tienen una mayor posibilidad de pandearse.

El costo, es uno de los contras en el uso del acero, ya que es muy caro protegerlo contra fuego, ya que el acero es muy buen conductor de calor y esto puede causar que las propiedades internas del acero cambien a una alta temperatura y pueda fallar la estructura. Dentro de estas protecciones entra también la protección contra la corrosión, esto debido a que están expuestos al agua y al viento, por lo que deben de ser recubiertos cada cierto tiempo para evitar estos fenómenos.

## **2.5 Economía en el diseño estructural**

Dentro de este mundo tan competitivo cada día, en costos, calidad, tiempo, es importante buscar un diseño cada vez más económico, sin perder la seguridad, la calidad y el tiempo de vida deseado para dicha estructura. Todas las partes y miembros de la estructura deben de ser colocados, arreglados y conectados de tal

manera que proporcionen una eficiente solución y un ahorro económico al problema de diseño.

Además de las características a cuidar mencionadas anteriormente, se debe tomar en cuenta también los costos de la fabricación y de el montaje en el área de la obra, ya que por lo general, el peso mínimo posible es una meta a lograr. En la siguiente figura se puede observar que la resistencia de una viga de acero sujeta a carga uniforme sería adecuada si se fabrica en tres partes, dos a los extremos denominados (1), los cuales son de un peso menor que la sección central a que si se coloca una viga de la misma sección en toda su longitud. Pero su economía se podría ver afectada.

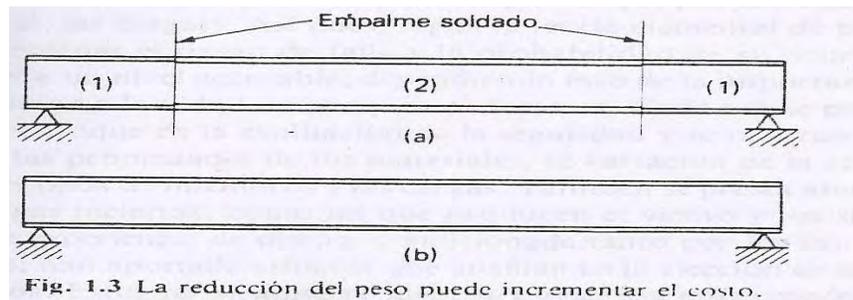


Figura 2.2 La reducción del peso puede aumentar el costo.

Fuente.- Bruce G. Johnston et. al.; 1997; 11.

En los cálculos de puentes cuyo claro es grande o en edificios que tienen una gran altura, es muy importante tener una gran exactitud, ya que el material que se utiliza es en grandes cantidades y cualquier pequeño error puede costar mucho dinero.

## **2.6 Seguridad estructural.**

La seguridad de una estructura es posible asegurarla gracias a la combinación de varios factores influyentes, como lo son el buen diseño, una mano de obra de calidad y buenos métodos de construcción.

Toda elección de un factor de carga en el diseño plástico, o los esfuerzos aplicados y los procedimientos de análisis apropiados requieren de una experiencia y un juicio ingenieril correcto.

“El enfoque más racional problema de la seguridad estructural requiere, por una parte, una evaluación estadística de la naturaleza aleatoria de todas las variables que determinan la resistencia de la estructura y, por otra parte, aquellas que pueden ocasionar su falla.” (Bruce G. Johnston et. al.; 1997; 13).

## **2.7 Métodos de construcción.**

Según lo citado por Bruce G. Johnston et. al. (1997), toda estructura se debe de preparar con una consideración muy amplia en la forma y facilidad con la que puede hacerse la maniobra y montaje en campo. Se debe de planear el tipo, cantidad, arreglo y localización de los empalmes y conexiones, para evitar toda duplicación innecesaria del equipo de construcción y proporcionar el plan más simple para su montaje.

En toda obra pero más en las grandes construcciones, debe presentarse un plan definitivo de montaje, teniendo la libertad el contratista de utilizar su ingenio para lograr la aprobación del dueño.

La mayoría de las fallas de construcción casi siempre son a causa de la falta de estabilidad tridimensional, y por lo general, durante el montaje, se presentan muchas más fallas que durante toda la vida útil de la estructura.

## **2.8 Diseño de vigas a flexión.**

Los miembros estructurales se dividen en diferentes clasificaciones, pero una de ellas son las vigas, las cuales según Joseph E. Bowles (1993), son las que soportan las cargas transversales producidas por fueras cortantes y momentos, las cuales son diseñadas tomando en cuenta la resistencia que presentan a la flexión como principal característica.

Las vigas no necesariamente son horizontales, también se pueden encontrar de formas inclinadas, tales como las vigas de techo y verticales como lo son las columnas, las cuales se deben de estudiar y analizar diferente de las vigas horizontales e inclinadas, ya que su comportamiento a flexión y pandeo influyen en grados considerables las combinaciones de la compresión, flexión y las cargas axiales.

En las clasificaciones de las vigas, cuando sus conexiones extremas no tienen ninguna capacidad de carga ni soportan momentos desarrollados en la conexión se

les llaman VIGAS SIMPLES. Son denominadas VIGAS CONTINUAS, cuando se extiende sin interrupción alguna a través de uno o varios apoyos. Cuando los extremos se conectan de forma rígida (soldados) a otros miembros, de tal forma que no pueden transmitir momentos se les denomina VIGAS FIJAS.

Las cargas que actuarán sobre las vigas son las cargas muertas y las cargas vivas. Estas cargas están consideradas como cargas puntuales para las muertas y cargas uniformes en caso de las vivas. Dentro de las cargas muertas como se ha mencionado anteriormente en este trabajo, es considerado el peso de la estructura en este caso de la viga, esta carga puede o no ser considerable dependiendo de la longitud y el peso de la misma. Si es un tramo largo y pesado debe ser considerado dentro del análisis de cargas, pero si es corto y de bajo peso no causaría gran variación en el análisis pero de igual forma debe ser tomado en cuenta.

Las vigas se pueden clasificar en:

- a) TRABES.- Estas son miembros principales de carga, sobre las cuales son conectadas las vigas.
- b) VIGUETAS.- Son miembros utilizados para soportar el techo y pisos de los edificios.
- c) DINTELES.- Utilizados para soportar los muros sobre las aberturas de los mismos.
- d) VIGAS DE BORDE.- Son utilizadas en las construcciones de edificios para soportar una parte del muro exterior y la carga de piso.

- e) LARGUEROS.- Son miembros de uso por lo general en puentes, colocados de forma paralela al tráfico para soportar la losa de cubierta.
- f) VIGAS DE PISO.- Son miembros de tipo secundario en pisos, y de carácter primario en la construcción de puentes de donde son conectados los largueros.

Para dar una solución al ámbito económico de una obra, en el diseño de estructuras en acero, se busca cargar los perfiles de acero en su lado más fuerte, el cual sería su eje x, así la flexión no solicitaría una sección más grande ni costosa.

Aún buscando que la flexión se presente solo en el eje fuerte (x), esta fuera se puede presentar en el eje débil (y) e inclusive en ambos ejes. En la mayoría de las aplicaciones que implican un solo eje de flexión, la carga se aplica en el centroide de la figura. Cuando esto no sucede, como sucede en ocasiones en canales, ángulos o secciones compuestas, se produce un momento de torsión junto con el de flexión los cuales deben de tomarse en el cálculo para evitar el sobreesfuerzo de la sección.

## **2.9 Perfiles de acero**

Los ángulos de hierro laminados fueron los primeros perfiles del tipo estructural utilizados para la construcción, esto tuvo lugar en Estados Unidos en el año de 1819. Las conocidas vigas I, fueron elaboradas en Estados Unidos en el año de 1844, en cuyo año fue elaborada la primera estructura reticular.

El acero se puede hacer o mejor dicho laminar de diferentes tamaños, formas y espesores, siendo de diferentes costos y manteniendo las propiedades del acero

estructural. Por lo general en la actualidad, los perfiles más utilizados son los perfiles I y T, ya que estos cuentan con grandes momentos de inercia en relación a su área.

Es muy común que los perfiles sean designados gracias a su forma de la sección transversal, por ejemplo los perfiles Z, perfiles en ángulo, perfiles tipo T, placas, pero se debe de poner especial atención en las vigas estándar americanas, ya que las vigas S y W se presentan con forma de I.

Las diferencias entre las vigas W y S son que las vigas W, tienen una superficie externa de la parte del patín que es paralela a la interna, y esto traducido a trabajo, permite una conexión más fácil gracias a sus constantes espesores. A continuación se muestran figuras de los diferentes tipos de perfiles de uso común en las construcciones en acero.

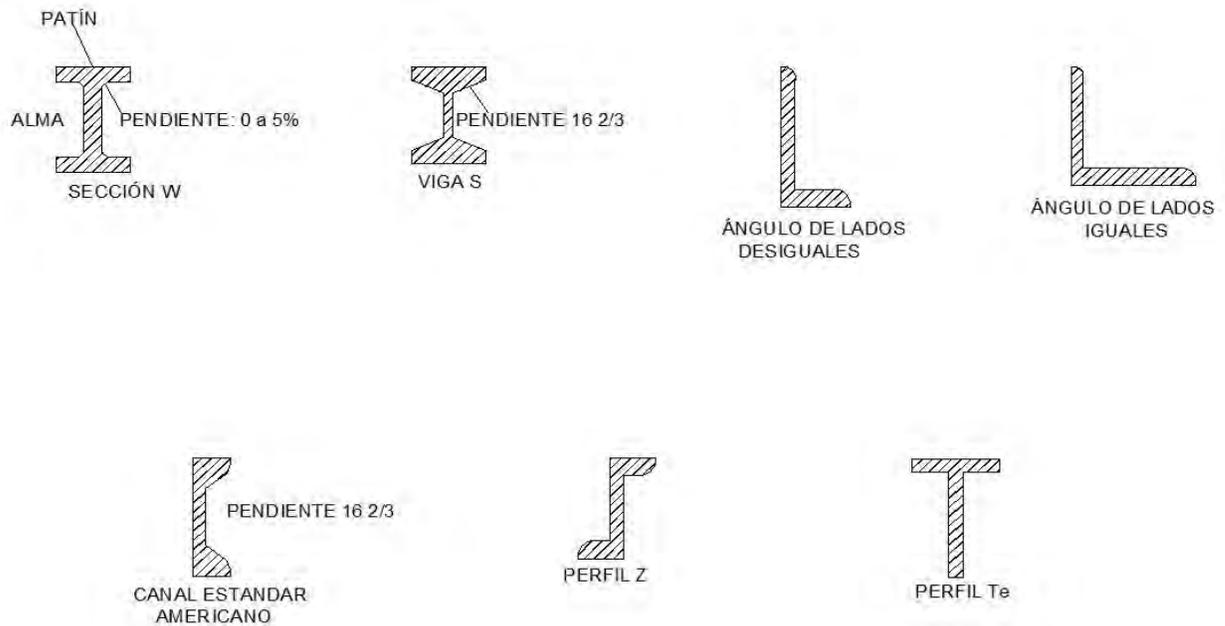


Figura 2.3 Perfiles laminados de acero.

Fuente.- McCormac: 1999: 8

### **2.9.1 Elección de perfiles**

De acuerdo con lo citado por McCormac (1999), el proyectista es libre de determinar y utilizar los perfiles que él considere adecuados, sin embargo, debe de verificar que el perfil seleccionado cumpla con algunas características como son: contar con múltiples conexiones para evitar el problema del cortante, debe de ser compacta la sección y tener dimensiones apropiadas, las cuales se ajusten a la estructura con una relación ideal al tamaño de los demás elementos.

Otro aspecto a tomar en cuenta, es el tipo de conexión que será utilizado dentro de la estructura, ya que hay diferentes tipos de conexiones y unos materiales son inadecuados para algunas secciones, por lo general la tornillería se utilizan cuando se presentan secciones de vigas W y S, mientras que cuando se presentan placas, tes y canales, la conexión más utilizada es la soldadura.

### **2.10 Conexiones con pernos**

Como fue explicado en capítulos anteriores, una estructura es un conjunto de elementos unidos entre sí para cumplir con un fin deseado. La palabra clave de este subcapítulo es justamente unidos, ya que no es adecuado dejar los elementos de acero solamente sobrepuestos uno sobre otro, si no que hay que ver el tipo de unión adecuada para el material con el que se diseñó o diseñará.

El uso de pernos es una opción muy utilizada en estos casos, estos son muy usados en la construcción de edificios, generalmente pero no siempre en edificios que existe la posibilidad que en un futuro deban de cambiar de sede o simplemente desmantelarse. El uso de pernos o tornillos como es más comúnmente escucharlos, hace que el edificio pueda desmantelarse sin ningún problema, ya que solo se aflojan nuevamente y listo.

Según lo mencionado en el Manual Del Ingeniero Civil (cuarta edición), este tipo de conexión es usada en lugares donde no se presentarán problemas de deslizamiento o de vibración, los pernos o tornillos son caracterizados por contar con una cabeza y una tuerca cuadrada u hexagonal.

Todos estos tipos de conexiones, están cubiertos por las especificaciones de la ASTM A307, A325 Y A490 y existen disponibles en una gran variedad. La especificación A307, cubre todos los pernos de acero al carbono para aplicaciones generales, así como las conexiones con esfuerzos bajos y los miembros secundarios.

Dentro de la especificación A325, están incluidos tres tipos de pernos de alta resistencia para empalmes en aceros estructurales:

- 1) Son todos los pernos hechos al carbono medio. Estos deben de ser especificados cuando estarán involucrados en altas temperaturas y también debe de especificarse si se requiere de galvanizado.
- 2) Son aquellos pernos hechos de acero martensita bajo al carbón.

- 3) Son aquellos pernos con resistencia a la corrosión atmosférica y al desgaste. Estos deben de ser especificados cuando se quiere que tengan resistencia a la corrosión atmosférica, si no es especificado, se pueden utilizar pernos del tipo 1 y/o 2 ya previamente descritos.

La especificación A490, la componen tres tipos de pernos, todos ellos para empalmes de acero estructural, estos tipos son similares a los de la especificación A325, solo que en este apartado menciona que los pernos A490 galvanizado en caliente no debe usarse.

Hay dos tipos de conexiones con pernos, estas son del tipo de aplastamiento, y del tipo de fricción. Las conexiones del tipo de aplastamiento resisten esfuerzos de corte más altos, por lo que se requiere un número menor de pernos. Los de tipo de fricción, son más resistentes a las cargas repetidas, por lo que estos son usados cuando las conexiones están sujetas a inversión de esfuerzo o cuando el deslizamiento es indeseable.

Como todo en la construcción, los pernos tienen símbolos específicos para cada tipo, lo que hace mucho más fácil su ubicación y prevención de errores en el criterio visual. En la figura 2.4 se muestran los símbolos convencionales para los pernos y remaches.

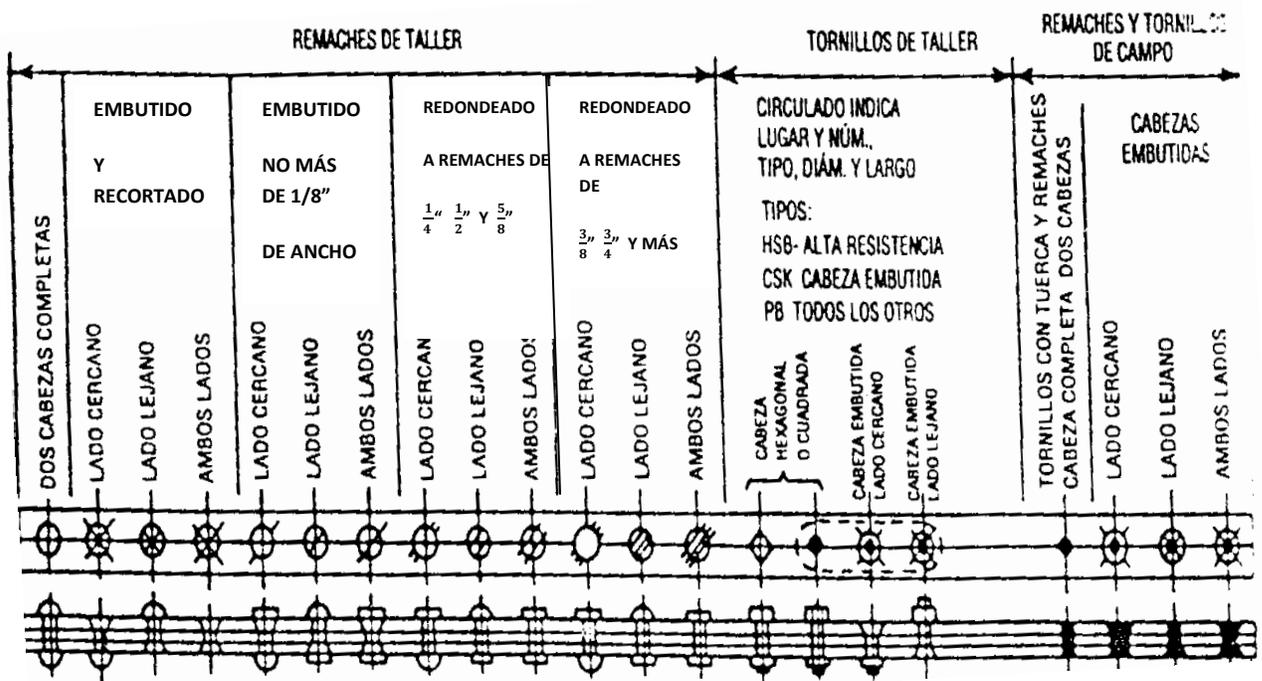


Figura 2.4 Símbolos convencionales de remaches y pernos.

Fuente.- Manual Del Ingeniero Civil: (2008 3° ed.: sección 9.52)

Como se mencionaba con anterioridad, existen las conexiones de tipo de aplastamiento y las de tipo de fricción, cada una requiere de un apriete diferente ya que son de características muy diferentes.

El apriete que debe de tener un perno de tipo aplastamiento es un apriete justo, "es el apriete que existe cuando todas las capas de la junta están en contacto firme y puede obtenerse por unos cuantos impactos de una llave de impacto o bien manualmente con una llave ordinaria." (Manual Del Ingeniero Civil: 2008: 9.53).

Por otra parte, los pernos de alta resistencia en conexiones de deslizamiento las conexiones deben de ser pretensadas, dichos pernos pueden ser apretados por el método de vuelta de la tuerca.”El método de vuelta de una tuerca requiere ajustar las partes que se van a unir y luego dar vuelta a la tuerca en una cantidad especificada. Se especifica de un tercio a una vuelta, incrementando cuando se requiere el número de vueltas para pernos largos o para los que conectan partes con superficies de pendiente suave.” (Manual Del Ingeniero Civil: 2008: 9.53).

## **2.11 Conexiones soldadas**

Otro de los métodos utilizados para la unión de perfiles, o elementos de acero por medio de la fusión es la soldadura. Comúnmente requiere de menos material de conexión que otros métodos, lo que ayuda en el costo de la obra y también puede ser en algunos casos ventajosa de acuerdo a la tranquilidad del proceso.

Existen muchos procesos de soldadura, pero según lo citado en el Manual Del Ingeniero Civil (2008), la soldadura de arco protegido es de las más usadas en la construcción, ya que la protección tiene dos funciones primordiales, una de ellas es la de evitar la oxidación del metal fundido y la otra es la de actuar como un fundente para sacar a flote las impurezas. Esta soldadura es utilizada tanto en trabajos de ajustes como de terminados. Los dos tipos de soldaduras más comunes son los de filete y chaflán.

Al igual que en los pernos, la soldadura también tiene símbolos para ser ubicada el tipo de soldadura a utilizar como se muestra en la figura 2.5, y cuenta con un dibujo de ubicación para determinar las especificaciones de la soldadura a utilizar esto explicado en la imagen 2.6.

SÍMBOLOS BÁSICOS DE SOLDADURA									
ESPALDAR	FILETE	TAPÓN O RANURA	RANURA O TOPE						
			CUADRADA	V	BISEL	U	J	RANURA EN V	BISEL ENSANCHADO

SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS DE SOLDADURA						
RESPALDO	SEPARADOR	SOLDADURA TODO ALREDEDOR	SOLDADURA DE CAMPO	CONTORNO		EN LA A2.4-85 DE LA AMERICAN WELDING SOCIETY VÉANSE OTROS SÍMBOLOS BÁSICOS Y COMPLEMENTARIOS DE SOLDADURA.
				A TOPE	CÓNVEXA	

Figura 2.5 Símbolos básicos y complementarios de soldadura.

Fuente.- Manual Del Ingeniero Civil: (2008 3° ed.: sección 9.55)

## UBICACIÓN ESTÁNDAR DE ELEMENTOS DE UN SÍMBOLO DE SOLDADURA

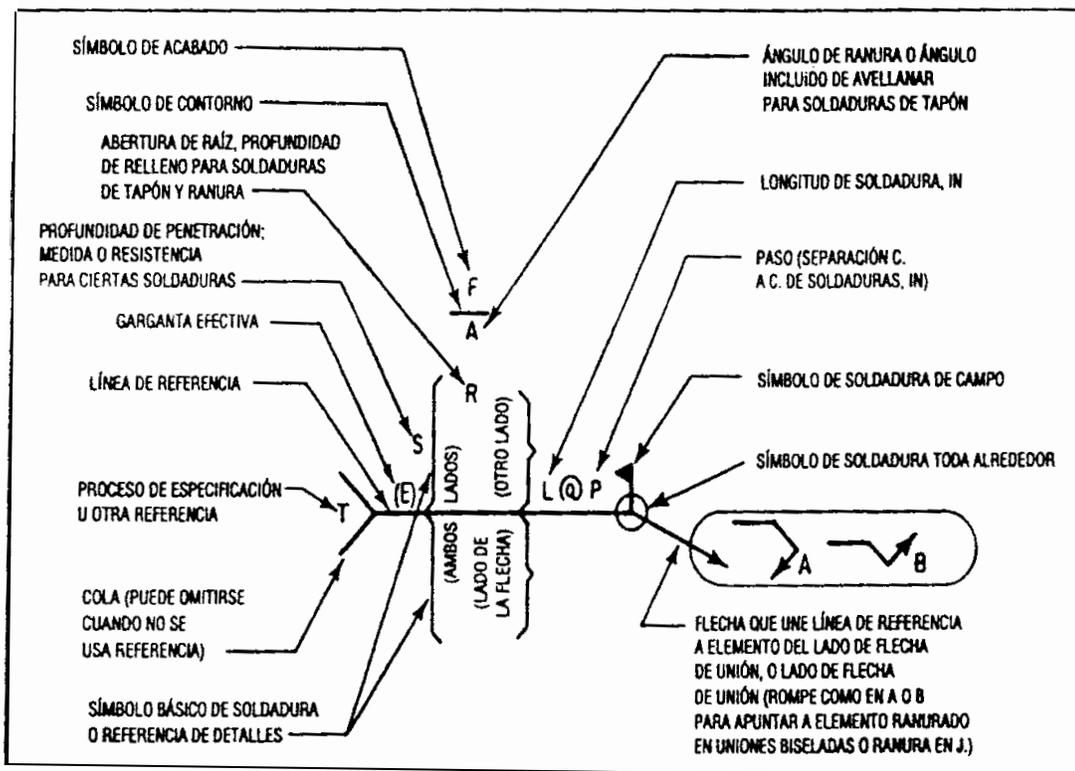


Figura 2.6 Ubicación estándar de elementos de un símbolo de soldadura.

Fuente.- Manual Del Ingeniero Civil; 2008: sección 9.55)

“El tamaño, el símbolo de soldadura, la longitud de la soldadura y el espaciamiento se deben de leer de izquierda a derecha a lo largo de la línea de referencia, independientemente de su orientación o de la localización de la flecha. La rama perpendicular de los símbolos para soldadura de filete, de bisel, J y de ranura de bisel acompañado debe estar a la izquierda. Los símbolos de soldaduras del lado de la flecha y del lado lejano deben ser del mismo tamaño. Los símbolos se aplican entre cambios abruptos en la dirección de la soldadura, a menos que se indique por

el símbolo de todo alrededor o se dimensione de otro modo. Cuando la lista de material de detalle del lado lejano de un miembro (como una alma atiesada o un refuerzo de armadura) con el lado cercano, la soldadura que se muestra en el lado cercano también se debe duplicar en el lado lejano.” (Manual Del Ingeniero Civil; 2008: 9.55).

La cita textual escrita con anterioridad, muestra la forma adecuada de la lectura de la figura 2.6, ya que es de mucha importancia conocer la forma adecuada de interpretar y leer el croquis o plano de la soldadura dado que en capítulos posteriores se presentará un croquis de este tipo para la soldadura utilizada en el presente trabajo.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.**

Dentro del presente capítulo, se hace mención al marco geográfico dentro del cual el proyecto a analizar se desarrollará, dentro de esta descripción de la zona, se abordarán temas tales como la geografía del lugar, el clima, la fauna y flora, actividades económicas principales, el objetivo del proyecto, la hidrografía, entre otros temas; con el principal fin de ayudar al lector a desarrollar una imagen mental del sitio aún sin haberlo visitado con anterioridad.

#### **3.1 Objetivo.**

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo el diseño estructural de una nave industrial cuyo uso será para un empaque de aguacate en la ciudad de Uruapan, Michoacán. Dicha obra tiene como propósito el mejor aprovechamiento de los espacios para las diferentes áreas que conforman un empaque de aguacate, además de economizar en costos y tiempo al momento de la construcción de empaques.

### **3.2 Alcance del proyecto.**

Esta investigación comprende solamente de del análisis y diseño estructural de la superestructura de la nave industrial, teniendo en cuenta que como superestructura se entiende a toda construcción que va por encima del suelo sobre el que se construye. Dentro del análisis de la superestructura se incluyen los diseños de las trabes, columnas, armaduras, placas y la soldadura. Todos los resultados que se lleguen a obtener se modelarán en planos estructurales, cada plano contará con sus especificaciones adecuadas para su buena interpretación y así facilitar el desarrollo de la obra.

### **3.3 Macrolocalización.**

El proyecto en estudio se encuentra ubicado en el estado de Michoacán, el cual es uno de los 31 estados y que junto con el Distrito Federal es uno de las 32 entidades federativas de la República Mexicana. El estado de Michoacán se encuentra ubicado en la parte centro-oeste de la República Mexicana, sus coordenadas geográficas son  $17^{\circ} 55'$  y  $20^{\circ} 24'$  de latitud norte, y  $100^{\circ} 04'$  y  $103^{\circ} 44'$  de longitud oeste.

Dicho estado limita al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el estado de México, al suroeste con el Océano Pacífico, al sur con Guerrero y al noroeste con Colima y Jalisco. El estado de Michoacán cubre una superficie de  $58,585 \text{ km}^2$ , que representa el 3% de la superficie total del país,

ocupando el lugar número 16 en extensión territorial, de acuerdo a lo citado en la página de internet [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).



Imagen 3.1: Localización del estado de Michoacán en la República Mexicana.

Fuente.- <https://www.wikipedia.org>.

### 3.3.1 Orografía del estado.

La orografía de dicho estado según lo citado por la página de internet [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) es una de las más accidentadas del país, pues cuenta con numerosos volcanes, los cuales forman parte del tan conocido Eje Neo-volcánico

Transversal al igual que con numerosas montañas ubicadas en la cadena montañosa Sierra Madre del Sur. La altitud del estado se encuentra entre los 0 m.s.n.m. y los 3840 m.s.n.m. Dentro de sus elevaciones más importantes se encuentra las siguientes:

- 1) Pico de Tancítaro (3840 m.s.n.m.)
- 2) Cerro de San Andrés (3600 m.s.n.m.)
- 3) Cerro de Patamban (3500 m.s.n.m.)
- 4) Cerro El Campanario (3420 m.s.n.m.)
- 5) Cerro del Pilón (3400 m.s.n.m.)
- 6) Cerro El Tecolote (3360 m.s.n.m.)
- 7) Cerro San Isidro (3350 m.s.n.m.)
- 8) Cerro del Águila (3340 m.s.n.m.)
- 9) Volcán del Parícutín (2800 m.s.n.m.)

### **3.3.2 Hidrografía del estado.**

La extensión costera del estado de Michoacán cuenta con 228 kilómetros, además de estas, cuenta con lagos y ríos dentro de su territorio, en los cuales se encuentran principalmente el lago de Cuitzeo, el lago de Pátzcuaro, lago de Chapala y el lago de Zirahúen. Dentro de sus ríos más importantes se encuentra el río Lerma, Balsas y Cupatitzio este último en la ciudad de Uruapan.

### 3.3.3 Clima del estado.

En el estado de Michoacán, se tiene una precipitación media anual de 806 mm según lo mencionado en la página del INEGI [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx), y una temperatura promedio anual de 22.2 °C. En el estado los climas predominantes son los mostrados en la tabla siguiente:

CLIMA	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
Cálido sub-húmedo con lluvias en verano	34.7
Templado sub-húmedo con lluvias en verano	27.9
Semicálido sub-húmedo con lluvias en verano	20.3
Semiseco muy cálido y cálido	10.6
Otros	6.5

Tabla 3.1: Climas del estado de Michoacán.

Fuente.- INEGI [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

### 3.3.4 Vegetación del estado.

Dentro del estado de Michoacán, se pueden encontrar diferentes y muy variados tipos de vegetación, esto debido a las muy diferentes temperaturas que se tienen, por lo que se muestra una tabla a continuación para mostrar el tipo de vegetación en el estado y el porcentaje de la misma:

VEGETACIÓN	% DE LA SUPERFICIE ESTATAL
Agrícola	27.99
Pastizales	1.8
Bosques	26.68
Selva	34.78
Matorrales	5.08
Otros	1.66

Tabla 3.2: Vegetación del estado de Michoacán.

Fuente.- [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

### **3.3.5 Demografía del estado.**

Según los datos arrojados por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con fecha de censo del 12 de junio del 2010, el estado de Michoacán contaba con una población de 4, 351,037 habitantes. Siendo la ciudad de Morelia la ciudad con más habitantes con un total de 597,511 y Uruapan en segundo lugar con 264,439 habitantes.

### **3.4 Microlocalización.**

El estado de Michoacán está integrado por 113 municipios, dentro de los cuales se encuentra Uruapan, lugar donde tomará lugar la construcción del presente proyecto. Según lo citado por José Ma. Paredes Mendoza (1999), el municipio de Uruapan tiene una altura de 1634 metros sobre el nivel de mar y cuya ubicación



rodeado de colinas y montes, dicho municipio se encuentra rodeado de una verde vegetación, aunque en su mayoría hoy en día son cultivos de aguacate.

### **3.4.1 Orografía del municipio.**

Las diferentes características orográficas de Uruapan, la hacen ver como “una alta meseta arrugada por grandes edificios volcánicos, las elevaciones de los valles de la meseta fluctúan entre los 1500 a los 2500 metros”, (Paredes Mendoza José Ma.; 1999; 11).

Alrededor de la ciudad se encuentran diferentes elevaciones, por el norte se encuentra el cerro de La Cruz y el cerro de La Charanda, al oriente se puede apreciar el cerro del Candelero y el cerro Colorado, al suroeste el cerro Jicalmi, al occidente se presenta el cerro Sapién y al noroeste el cerro de Charanguearán, entre los que forman un gran valle ubicando dentro de él a la ciudad de Uruapan.

La riqueza hídrica que tiene la ciudad es muy reconocida alrededor de todo el estado Michoacano, debido a la composición geológica de las tierras altas, debido a que tienen una gran porosidad lo que hace que las aguas pluviales se capten hasta el fondo de los acuíferos, que después saldrán más abajo para su aprovechamiento.

### **3.4.2 Clima del municipio.**

El clima que hay en el municipio de Uruapan es de los más variados de todo el estado debido a las diferentes alturas que lo afectan. La zona norte de la ciudad cuenta con un clima templado sub-húmedo con lluvias en verano, la zona céntrica de la ciudad cuenta con un clima templado húmedo con abundantes lluvias en verano,

aunque no es el único clima en la zona centro ya que también hay un clima semi-cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, hacia el sur la región cuenta con un clima semi-cálido sub-húmedo con lluvias en verano y en la zona del extremo sur el clima se encuentra catalogado como cálido sub-húmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual no es la misma en toda la región debido a los diferentes climas que se encuentran, por lo que esta se divide en tres zonas, que son las siguientes:

1. La zona norte del municipio que cuenta con una temperatura media anual que oscila entre los 6 y 20°C.
2. La zona norte al igual que la zona sur tienen un promedio de 10 a 27°C.
3. La zona del extremo sur presenta una temperatura media anual variante de entre los 14 a 33°C.

La zona centro del municipio de Uruapan, de acuerdo a lo citado por el Servicio Meteorológico Nacional 2008.06.08, es la zona con mayor registro de precipitación pluvial de la ciudad superando los 1500 mm por año, pasando por encima la parte norte y sur con una precipitación de 1200 mm y a la zona extrema del sur con una precipitación de 1000 mm.

### **3.4.3 Flora y fauna del municipio.**

“Un muy importante sector del territorio de Uruapan, principalmente hacia el centro y norte, se dedican a la agricultura, el resto del municipio se encuentra cubierto por bosque, en el que en las zonas más elevadas se encuentran pino y encino y ya en la parte más baja pegada a Tierra Caliente la flora

es muy parecida a Tierra Caliente poca precipitación y más escasa vegetación que el Norte ya no hay pino sólo hallamos especies como parota, guaje, Mezquite, Nopales, cascalote y cirián.”( [www.wikipedia.com.mx](http://www.wikipedia.com.mx))

La fauna del municipio se está reduciendo de forma drástica, debido a que hay una tala inmoderada de bosques lo que causa que animales como el coyote, venado, zorrillo, pato, conejo, tlacuache, entre otras especies estén desapareciendo.

#### **3.4.4 Actividad comercial del municipio.**

De acuerdo a un censo realizado en el 2005 por el INEGI, la población activa de la ciudad fue de un 33.1% y el desempleo del 1.27%, trabajando la mayor parte de la población en el sector terciario destinado al comercio y prestación de servicios.

La actividad con mayor auge en la ciudad de Uruapan es la agricultura, dentro de ella el cultivo del “oro verde”, el aguacate, comenzando su mayor crecimiento según la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) en 1997, mismo año donde se dio el comienzo de APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de aguacate de Michoacán), debido a la suspensión de la prohibición de exportar aguacate Mexicano a Estados Unidos.

Además del aguacate, también se encuentra el cultivo de la caña de azúcar, maíz, durazno, café, guayaba y hortalizas, aunque no con la misma importancia y cantidad que el “oro verde”.

La ganadería en la región de Uruapan no está perdida, ya que también se cuenta con la crianza de diferentes especies de animales, tales como el ganado bovino, porcino, caprino, equino, avícola y un muy pequeño sector de silvicultura.

Un sector no muy desarrollado de este municipio es el industrial pero aún así existe la presencia de empresas dedicadas a la fabricación de papel, plásticos, chocolate, entre otros.

### **3.4.5 Actividad turística del municipio.**

La ciudad de Uruapan cuenta con una amplia gama de destinos turísticos tanto culturales como naturales, dentro de los cuales los más destacados se encuentran los siguientes:

1. EL PARQUE NACIONAL: Cuya principal atracción es el nacimiento del río Cupatitzio, el cual abastece de agua potable a todo el municipio.
2. LA HUATÁPERA: El cual es el primer hospital fundado en Uruapan y de los primeros en América, donde además de curar a los indígenas educaban a la población dentro del aspecto espiritual.
3. LA TZARARACUA: Se ubica 10 km debajo de la ciudad por la carretera libre a Apatzingán, es una asombrosa cascada rodeada de una gran vegetación.
4. LA CASA MÁS ANGOSTA DEL MUNDO: Es la casa más angosta del mundo con sus medidas de 1.4 x 7.7 m la cual aparece en los libros de records Guinness.

La ubicación del terreno se encuentra sobre la carretera federal Uruapan-San Juan Nuevo Parangaricutiro en el kilómetro 7+000, el cual pertenece todavía al municipio de Uruapan. Como se puede apreciar en la imagen 3.3 el terreno se encuentra delimitado por huertas de aguacate y una construcción dedicada a la venta de gas. El terreno cuenta con una superficie de 3 hectáreas (30,000 m<sup>2</sup> de superficie.).



Imagen 3.3: Localización del terreno en el municipio de Uruapan en Michoacán.

Fuente.- <https://www.google.com.mx>.

En la imagen 3.4 se muestra el interior del terreno elegido para construir, donde se logra apreciar la compactación del suelo natural, este ya con su despalme del material orgánico.



Imagen 3.4: Compactación del terreno donde se construirá.

Fuente.- Propia.

En la imagen 3.5 se puede observar la delimitación del área a construir, utilizando cal para su fácil ubicación.



Imagen 3.5: Delimitación del área a construir.

Fuente.- Propia.



Imagen 3.6: Mejoramiento del suelo.

Fuente.- Propia.



Imagen 3.7: Esparcimiento de la base.

Fuente.- Propia.



Imagen 3.8: Compactación del terreno.

Fuente.- Propia.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA.**

En el presente capítulo se hará mención del método empleado para la elaboración de esta investigación, dentro de la cual, serán citados los métodos de enfoques existentes y se describirá el que se empleó. Así mismo se indica el alcance de la investigación y su diseño, sin dejar de citar los instrumentos que facilitaron la recopilación de datos y el proceso que se siguió a lo largo de este trabajo hasta su conclusión.

#### **4.1 Método científico**

Al realizar trabajos de investigación, es de vital importancia saber que se debe seguir una serie de pasos orientados a la correcta realización o elaboración del proyecto de investigación. En esta investigación se utilizó el método científico, el cual de acuerdo con Tamayo y Tamayo (2000), se entiende como un conjunto de procedimientos en los que se plantean problemas e hipótesis científicas para descubrir las condiciones en las que se presentan algunos sucesos específicos, los cuales deben de cumplir con las características de ser verificable, razonamiento riguroso y una observación empírica. Todo lo mencionado anteriormente no es más que el uso de la lógica en hechos y realidades observadas.

En este trabajo se empleará el método científico, porque de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, el trabajo de investigación tiene como finalidad determinar las características y dimensiones óptimas para un empaque de aguacate

dentro del municipio de Uruapan, dichas características y dimensiones, deben de ser razonadas rigurosamente y después verificadas de forma empírica y/o científica, por lo que de acuerdo a la definición dada anteriormente, el método utilizado en este trabajo es el adecuado.

#### **4.1.1 Método matemático**

De acuerdo con lo citado por Mendieta (2005), el método matemático es aquel que mediante el uso de números llega a un resultado, por ende, al usar este método estamos usando el procedimiento científico, obteniendo y comparando cantidades con el fin de tener la solución adecuada.

Así en el presente trabajo se empleará el método matemático, porque debido al tema del trabajo se requiere el uso de modelos matemáticos y cálculos entre otros sistemas de obtención de datos, los que llevan al uso de números para la obtención de un resultado ideal.

#### **4.2 Enfoque de la investigación**

Según Hernández Sampieri et. al. (2007), el enfoque de la investigación se divide en tres tipos, siendo una de ellas es del tipo cuantitativo, cuyas características son las de medir fenómenos, dar uso de estadísticas, hace uso de la experimentación y usa un análisis causa-efecto. Este enfoque posee bondades como la de la generalización de resultados, el control sobre fenómenos, al mismo tiempo que la predicción, réplica y precisión. Cuenta con un proceso deductivo, secuencial, probatorio, los cuales analizan la realidad de una manera objetiva.

El segundo tipo de enfoque es el cualitativo, dicho enfoque no busca la réplica, no se basa ni fundamenta en la estadística, se maneja en ambientes naturales y los significados son extraídos de los datos. Algunas de las bondades más sobresalientes de este enfoque son su amplitud y profundidad de ideas, la riqueza interpretativa y la contextualización de los fenómenos. Cuenta con un proceso inductivo, recurrente y que no tiene secuencia lineal, por lo que analiza la realidad subjetiva.

Y, por último, pero no de menor importancia el enfoque mixto, el cual es una combinación de características, procesos y bondades de los dos enfoques anteriores.

Este trabajo de investigación se basará en el enfoque cuantitativo, ya que será necesario el cuantificar y calcular materiales, elementos, entre otros aspectos para el diseño estructural de este empaque, ya que este enfoque, da la posibilidad de tomar el control sobre los fenómenos que se puedan presentar y así lograr analizar su magnitud, también permite comparaciones en base a otros estudios del mismo género o área para lograr un criterio propio.

#### **4.2.1 Alcance de la investigación**

Cada uno de los enfoques mencionados con anterioridad, cuentan con un alcance de la investigación, los cuales según Hernández Sampieri et. al. (2007) son de tipo exploratorio, descriptivo y correlacional-causal.

Estudio exploratorio: Estos estudios son utilizados cuando el objetivo de la investigación es de examinar un tema o problemática del cual no hay mucha información y se tengan abundantes dudas o del cual no se haya abordado antes.

Estudio descriptivo: Estos estudios evalúan y/o recolectan datos sobre perfiles, aspectos, dimensiones o componentes de personas, grupos, comunidades, objetos o cualquier fenómeno que se desea investigar. En este tipo de estudio, se elige un tema y se recolecta información sobre él.

Estudio correlacional-causal: Estos estudios pretenden dar respuesta a las preguntas de investigación.

En este trabajo de investigación se utilizará el método de estudio descriptivo, ya que se necesitara realizar mediciones, recolecciones y evaluaciones de muchos y diferentes aspectos del tema a estudiar.

#### **4.3 Tipo de diseño de la investigación**

Dentro del diseño de la investigación existen dos tipos totalmente diferentes uno del otro, por lo que es indispensable conocer las características de ellos para así saber qué tipo de diseño se empleará. De acuerdo a lo mencionado por Hernández Sampieri et. al. (2007) los tipos de diseño y sus características son los siguientes:

Diseños experimentales: Son aquellos en los que intencionalmente son manipuladas las variables, con el fin de analizar y observar las consecuencias que dicha manipulación dio lugar, todo lo anterior dentro de un ambiente de control para el investigador.

Diseños no experimentales: Son aquellos en los que no se manipulan las variables, por lo que se pueden presentar de una manera inesperada y diferente cada vez, por lo que se corre el riesgo de no poder observar el fenómeno si se distrae.

Analizando las definiciones anteriores, se llegó a la conclusión de que el diseño de la investigación es del tipo no experimental, ya que no se controlan las variables ni se realiza ningún tipo de experimento.

#### **4.3.1 Investigación transeccional**

La investigación transeccional o también denominada transversal, es la recolección de datos pero de un instante determinado, en un momento único según lo señala Hernández Sampieri (2007). El propósito de este tipo de investigación es el de conocer y describir la o las variables en estudio en un momento único.

#### **4.4 Instrumentos de recopilación de datos**

Los instrumentos usados en este trabajo para su recopilación fueron planos arquitectónicos, manuales de especificaciones de materiales, reglamentos de construcción, SAP 2000 versión 9 y 14, el AutoCad 2009 y 201, el estudio de mecánica de suelos para así obtener la capacidad de carga del suelo sobre el que será desplantado el proyecto y el programa Microsoft Excel.

#### **4.5 Descripción del proceso de investigación.**

Antes de comenzar la investigación de este proyecto, se investigó acerca de los diferentes temas de estudio, las ventajas y desventajas que tendrían cada uno de ellos, ya que no se cuenta con la misma habilidad para todas las áreas que abarca la ingeniería civil.

Una vez que se determinó el tema del trabajo, se eligió un título para la presente investigación, siendo de este el lugar donde se contaría con los títulos de capítulos necesarios para empezar con la investigación en la biblioteca. Una vez localizados los capítulos, se definieron los conceptos más importantes y estratégicos para la comprensión del trabajo al lector.

Conforme se fue elaborando los capítulos y sub-capítulos de la presente investigación, se tomaron tesis de otros alumnos pero relacionados con este trabajo, lo cual fue de utilidad para basarse en que temas estaban colocados de manera correcta y cuáles no tendrían el impacto deseado.

Dado a que se integrarán cálculos matemáticos en este proyecto, se analizaron los planos una gran cantidad de veces, pues era necesario conocer la ubicación, espacio entre columnas, alturas, entre muchas otras cosas ya que se requerían datos como la velocidad del viento que impacta en la localidad, la longitud de los claros para así determinar el material a utilizar y demás datos.

Una vez terminada la nave industrial se conocían los datos del peso total de la nave para así determinar qué tipo de cimentación sería la más adecuada y favorable tanto estructural como económicamente para el proyecto.

Al final de buscar diferentes alternativas para el proyecto, se optó por elaborar el empaque completamente de acero, con armaduras para sostener el tejado y así dejar un área de trabajo más amplia, ya que debido a la gran cantidad de maquinaria a utilizar es un beneficio tener áreas libres de columnas.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

En el presente capítulo se mostrarán los cálculos realizados para el dimensionamiento de los distintos elementos estructurales de la nave industrial, dentro de los cuales se pueden encontrar las armaduras, las columnas, las placas y la soldadura entre otros. Se especificará a detalle los pasos seguidos de acuerdo al reglamento de construcción del estado de Michoacán, esto con el fin de dar al lector una breve y pequeña idea de los procedimientos necesarios para lograr realizar este trabajo.

#### **5.1 Diseño de largueros con el RCEM.**

Como ya fue mencionado en capítulos anteriores, los largueros de acuerdo con la página de internet [www.wikipedia.org/wiki/Larguero](http://www.wikipedia.org/wiki/Larguero), los largueros son tiras de acero o madera las cuales van sobre la armadura cuyo fin es soportar la carga y ayudar al anclaje de la lámina a utilizar, se ubican varios de estos a una separación establecida por el calculista y se colocan de forma paralela uno de otro.

Las siglas RCEM, son empleadas para abreviar Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, se utiliza este reglamento debido a que la obra se encuentra dentro del estado de Michoacán y es necesario su uso para así fundamentar todos los cálculos y decisiones tomadas en el proyecto sin consecuencias contraproducentes a futuro. Basándose a este reglamento de construcción, se diseñó la techumbre del proyecto con los siguientes pasos:

1. Información sobre la estructura a diseñar.

- ❖ Para poder diseñar los largueros de este proyecto, es necesario conocer los siguientes datos, los cuales de acuerdo al RCEM son:

Tipo de estructura: 1

Velocidad del viento regional ( $V_o$ ): Para Uruapan, Mich. 100 km/hr.

Factor de topografía ( $K_1$ ): Terreno plano  $K_1=1$

Factor de recurrencia para tipo B ( $K_2$ ):  $K_2=1$

Altura sobre el nivel del mar ( $a$ ): Para Uruapan, Michoacan  $a=1.6$  km.

- ❖ De acuerdo al artículo 411 del RCEM, se obtiene lo siguiente:

$$P=NCV^2 \quad N=0.005\left(\frac{8+a}{8+2a}\right) \quad V=(K_1)(K_2)(V_o)$$

Donde:

$P$ = Presión estática en kg/ m<sup>2</sup> .

$N$ = Coeficiente de densidad del aire.

$a$ = Altura sobre el nivel del mar, en km.

$V$ = Velocidad de diseño en km/hr.

$c$ = Coeficiente de empuje.

- ❖ Se dejará la fórmula de la presión (P) en función de c, y se utilizarán los datos ya de proyecto:

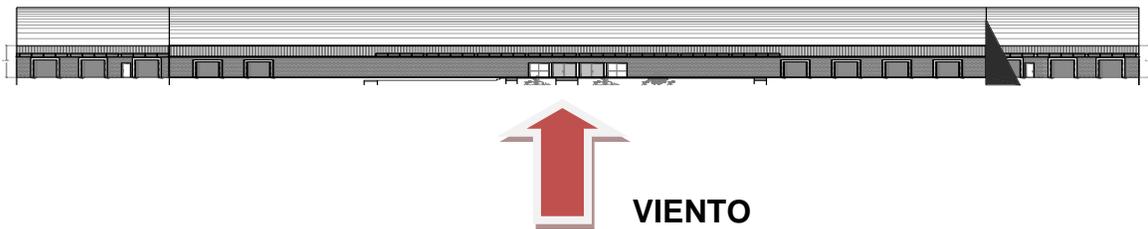
$$N = 0.005 \left( \frac{8+1.6}{8+2(1.6)} \right) = 0.0043$$

$$V = (1)(1)(100 \text{ km/hr}) = 100 \text{ km/hr}$$

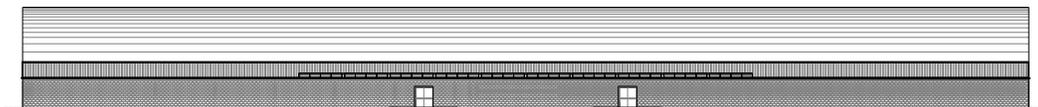
$$P = (0.0043)(c)(100 \text{ km/hr})^2 = \underline{43c}$$

2.- Determinación de coeficientes de empuje y presiones actuando el viento normal a las generatrices.

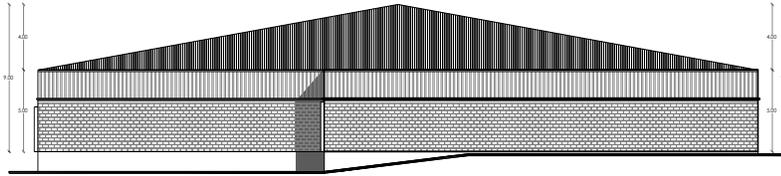
#### FACHADA PRINCIPAL



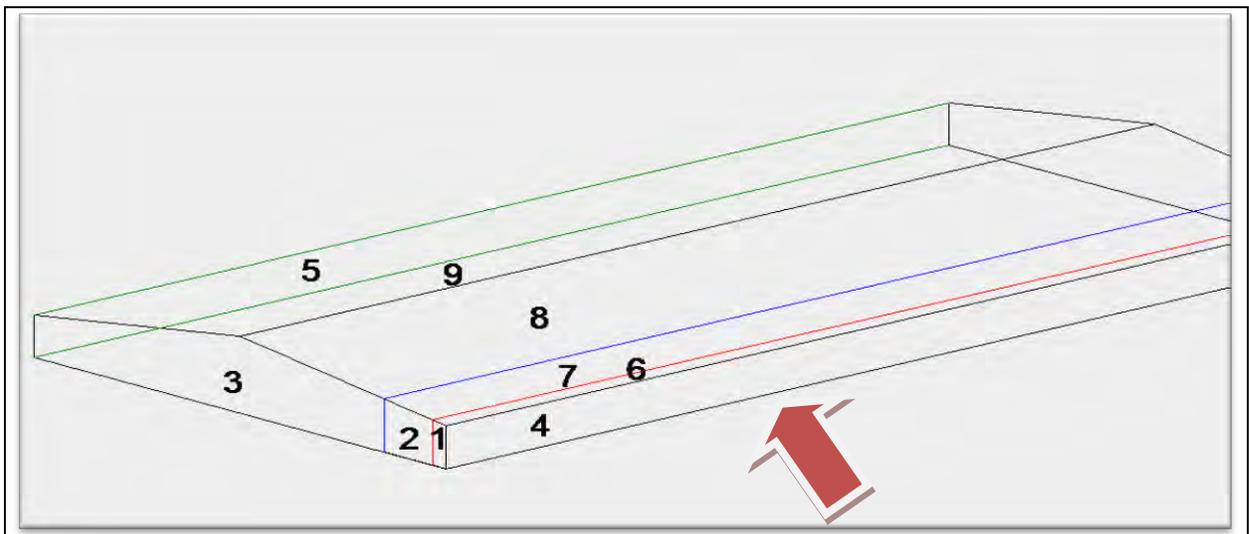
#### FACHADA POSTERIOR



## FACHADA LATERAL



- ❖ De acuerdo a lo mencionado en el artículo 413, de los títulos 2 y 4 los coeficientes de empuje correspondientes y las presiones son los siguientes:



**VIENTO**

$$\Theta \text{ de la cubierta} = \arctan\left(\frac{D}{\frac{B}{2}}\right)$$

- ❖ Por lo que colocando los datos del proyecto resulta:

$$\Theta \text{ de la cubierta} = \arctan\left(\frac{4}{\frac{50}{2}}\right)$$

$\Theta$  de la cubierta=  $9.09^\circ < 15^\circ$  Por lo tanto los coeficientes de las paredes son:

$$C_1 = 0.75$$

$$C_2 = -1.75$$

$$C_3 = -1$$

$$C_4 = -0.4$$

$$C_5 = -0.68$$

Y los coeficientes designados para la cubierta de acuerdo con el RCEM son:

$$C_6 = -1.75$$

$$C_7 = -1$$

$$C_8 = -0.4$$

$$C_9 = -0.68$$

Para obtener las presiones interiores se debe de calcular los porcentajes de aberturas en las paredes.

#### Paredes longitudinales

$$n = \left( \frac{141.37}{550} \right) 100 = 25.70\% < 30\%$$

Paredes transversales: Como no se cuenta con ventanas o puertas del lado transversal la n será cero.

$$n = 0 < 30\%$$

- ❖ Una vez obtenidos los porcentajes de aberturas en las paredes, el valor obtenido se compara con el 30% indicado en el art. 413-9 y si este es mayor al porcentaje de aberturas los coeficientes de presión se determinan con las siguientes expresiones:

$$C = 0.80 \left( \frac{n}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{n}{30} \right) \text{ (si las aberturas están del lado del barlovento).}$$

$$C = -0.60 \left( \frac{n}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{n}{30} \right) \text{ (si las aberturas están del lado del sotavento o en un costado).}$$

Barlovento:

$$C = 0.80 \left( \frac{25.70}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{25.70}{30} \right) = 0.73, 0.64$$

Sotavento:

$$C = -0.60 \left( \frac{25.70}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{25.70}{30} \right) = -0.47, -0.56$$

Laterales:

$$C = -0.60 \left( \frac{0}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{0}{30} \right) = 0.30, -0.30$$

Sumatoria:

Coef.  $I_+$  = 0.56

Coef.  $I_-$  = -0.21

- ❖ Para obtener los coeficientes de empuje a utilizar, se debe de sumar los coeficientes de empuje establecidos por el art. 413 y los coeficientes obtenidos en los pasos anteriores, por lo que la fórmula es la siguiente:

$$C = C_e + C_i$$

$$C_1 = 1.31$$

$$C_2 = -1.96$$

$$C_3 = -1.21$$

$$C_4 = -0.61$$

$$C_5 = -0.89$$

$$C_6 = -1.96$$

$$C_7 = -1.21$$

$$C_8 = -0.61$$

$$C_9 = -0.89$$

### 3.- Cálculo de presiones

- ❖ Dado a que ya se encontraron los coeficientes (c), ahora se pueden obtener las presiones con la fórmula mencionada con anterioridad en el paso 1.

$$P = 43c$$

$$P_1 = 56.027 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_2 = -84.196 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_3 = -52.053 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_4 = -26.339 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_5 = -38.339 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_6 = -84.196 \text{ Kg/m}^2$$

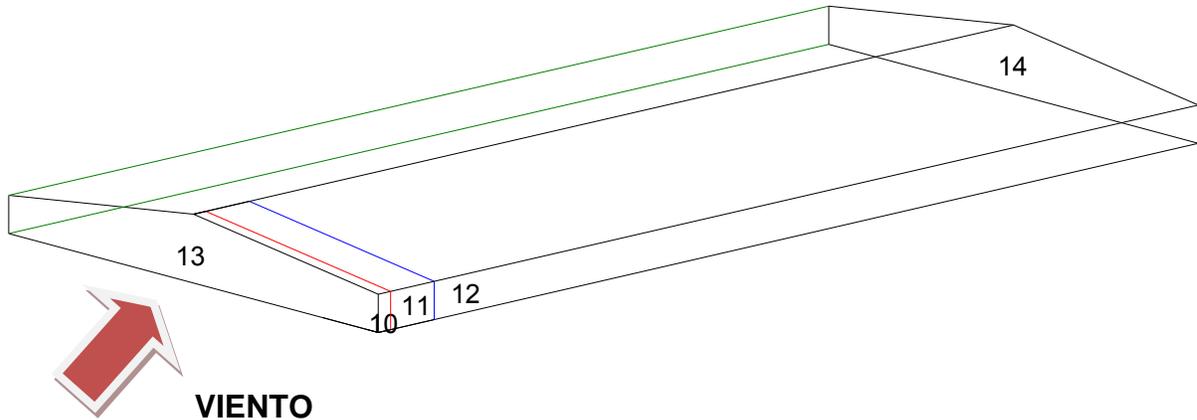
$$P_7 = -52.053 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_8 = -26.339 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_9 = -38.339 \text{ Kg/m}^2$$

4.- Cálculo de las presiones y coeficientes de empuje con el viento soplando de forma paralela a las generatrices.

- ❖ Se usarán los mismos pasos anteriores, (Del 1 al 3), pero con el viento soplando en otra dirección. De acuerdo con el artículo 413-2, se tiene que los coeficientes de empuje serán los siguientes:



Superficie Expuesta barlovento ( $C_{10}$ )= 0.75

Superficie Expuesta sotavento ( $C_{11}$ )= -0.68

Barlovento ( $C_{12}$ )= -1.75

Central ( $C_{13}$ )= -1

Sotavento ( $C_{14}$ )= -0.4

Barlovento:

$$C = 0.80 \left(\frac{0}{30}\right) \pm 0.30 \left(1 - \frac{0}{30}\right) = 0.30, -0.30$$

Sotavento:

$$C = -0.60 \left(\frac{0}{30}\right) \pm 0.30 \left(1 - \frac{0}{30}\right) = 0.30, -0.30$$

Laterales:

$$C = -0.60 \left( \frac{25.70}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{25.70}{30} \right) = -0.47, -0.56$$

Sumatoria:

Coef. I<sub>+</sub> = 0.13

Coef. I<sub>-</sub> = -1.16

- ❖ Para obtener los coeficientes de empuje a utilizar, se debe de sumar los coeficientes de empuje establecidos por el art. 413 y los coeficientes obtenidos en los pasos anteriores, por lo que la fórmula es la siguiente:

$$C = C_e + C_i$$

C<sub>10</sub> = 0.88

C<sub>11</sub> = -1.84

C<sub>12</sub> = -2.91

C<sub>13</sub> = -2.16

C<sub>14</sub> = -1.56

## 5.- Cálculo de presiones

- ❖ Dado a que ya se encontraron los coeficientes (c), ahora se pueden obtener las presiones con la fórmula mencionada con anterioridad en el paso 1.

$$P = 43c$$

$$P_{10} = 37.67 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{11} = -78.73 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{12} = -124.59 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{13} = -92.44 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{14} = -66.73 \text{ Kg/m}^2$$

## 6.- Cálculo de cargas actuantes sobre el larguero.

### Especificaciones:

El tipo de cubierta a utilizar en este proyecto, es un panel de calibre 20 tipo sándwich compuesto por un núcleo de espuma rígida de poliuretano y dos caras de acero de calibre 26, tiene una longitud de hasta 11.80 m y un ancho efectivo de 1 m, cuyo peso es de 9.85 Kg/m<sup>2</sup>.

El material para los largueros será un CPL 7" calibre 14, el cual cuenta con un peso de 5.10 kg/m, tornado en frío con dos patines atiesados.

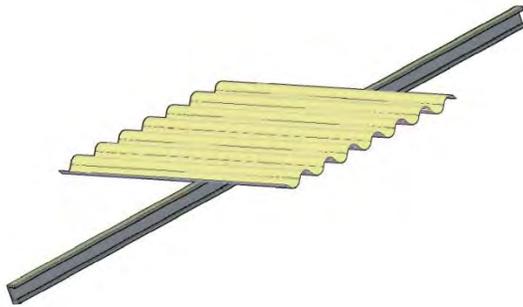
7.- Cálculo de los largueros ante cargas permanentes.

Separación entre largueros= 2.53m

Longitud de larguero= 5m

Separación entre armaduras= 5m

Carga por metro lineal de larguero= 30.02 kg/m



- ❖ En este paso se calcularán las cargas que actúan en los largueros, tanto la cubierta como el peso propio del larguero y el peso por colocación, por lo que se calcularán los siguientes valores:

$P_m$  = Carga de montaje, considerada en el centro de del larguero.

$W_x = w (\text{sen}\theta)$

$$W_y = w (\cos\theta)$$

$$P_{mx} = P_m (\sin \theta)$$

$$P_{my} = P_m (\cos\theta)$$

- ❖ Una vez que se saben de dónde obtener los datos, se procede a su obtención con los datos adecuados del proyecto.

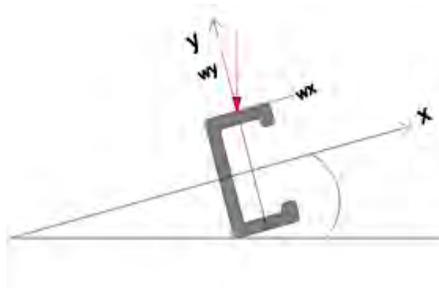
$$P_m = 100 \text{ kg}$$

$$W_x = 4.74 \text{ kg/m}$$

$$W_y = 29.64 \text{ kg/m}$$

$$P_{mx} = 15.80 \text{ kg}$$

$$P_{my} = 98.74 \text{ kg}$$



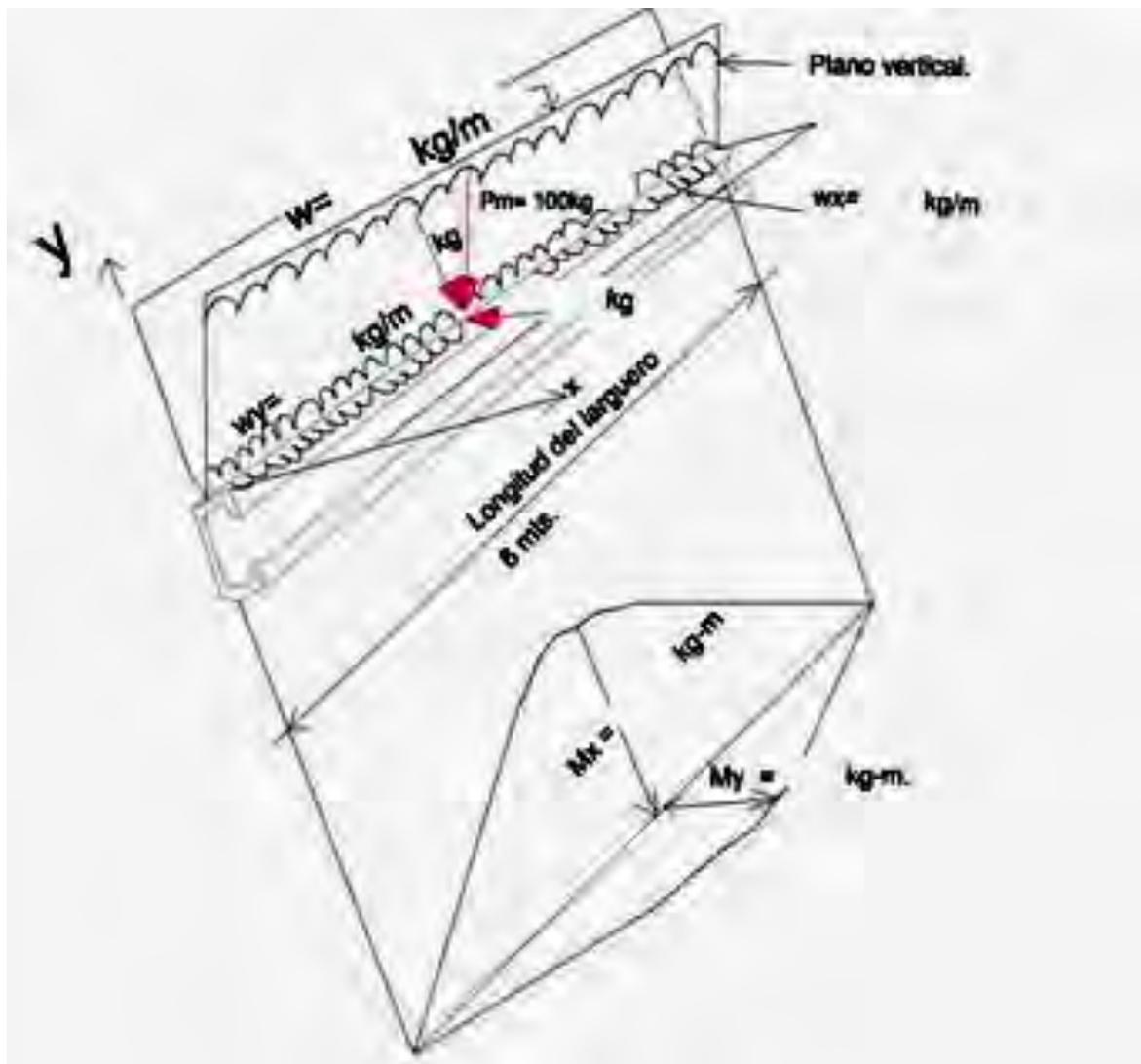
- ❖ Ya que se obtuvieron los datos mostrados con anterioridad, se calculan los momentos flexionantes sobre el larguero sin olvidar considerar el efecto de las cargas de montaje en ambos lados del larguero, para ello se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$M_x = \frac{W_y L^2}{8} + \frac{P_m y L}{4}$$

$$M_y = \frac{W_x L^2}{8} + \frac{P_m x L}{4}$$

$$M_x = \frac{(29.64 \cdot 5^2)}{8} + \frac{(98.74 \cdot 5)}{4} = \underline{216.07 \text{ kg/m}}$$

$$M_y = \frac{(4.74 \cdot 5^2)}{3} + \frac{(15.80 \cdot 5)}{4} = \underline{59.27 \text{ kg/m}}$$

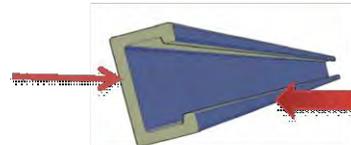
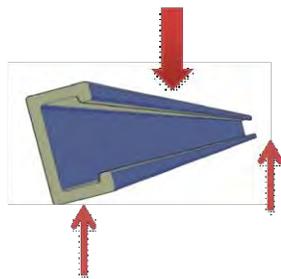


- ❖ Una vez que se tienen los momentos flexionantes, se continúa con la revisión de los perfiles a utilizar, tomando para Fby el 50% de Sy por efectos de torsión, lo que será posible con las fórmulas mostradas a continuación:

$$Fbx + Fby = 0.6Fy$$

$$Fbx = \frac{Mx}{Sx}$$

$$Fby = \frac{My}{\frac{Sy}{2}}$$



$$fbx \left[ = \frac{Mx}{Sx} \right]$$

+

$$fby \left[ = \frac{My}{Sy} \right] \leq$$

Fb

- ❖ Una vez sustituidas las fórmulas por los valores del proyecto, las ecuaciones quedan de la siguiente manera:

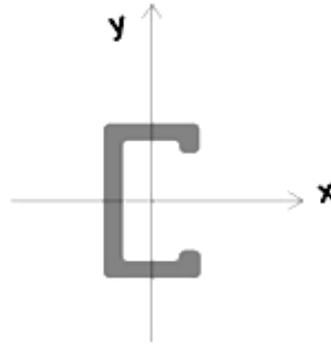
$$Fbx = \frac{21607}{35.79} = 603.71 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fby = \frac{5927}{\frac{8.33}{2}} = 1423.09 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Fbx + Fby = 2026.8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{bx} + F_{by} < 2310 \text{ Kg/cm}^2$$

13.97% sobrada



8.- Revisión del larguero por la acción del viento (carga accidental).

- ❖ Evaluando los esfuerzos actuantes sobre el larguero con la carga adicional del viento, se determinará en este paso cual es la presión o succión actuantes sobre la lámina y así determinar momentos sobre el perfil, por lo que para este paso se usará la fórmula de la presión ubicada en el primer paso, como se muestra a continuación:

$$P=43C \text{ kg/m}^2$$

- ❖ Para definir el coeficiente C, se tomará el viento actuando de forma transversal a la nave:

VALORES DE "C"				
$\theta$	SUPERFICIE DE BARLOVENTO			SUPERFICIE DE SOTAVENTO
	ZONAS			
	BARLOVENTO	CENTRAL	SOTAVENTO	
< 15°	-1.75	-1	-0.4	-0.68

Tabla 5.1: Valor de los coeficientes

Fuente: Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán (RCEM): 1990, 161

$$C4 = -1$$

$$C5 = -1.75$$

$$C6 = -0.68$$

$$C7 = -0.40$$

- ❖ Como se puede observar en los valores de los coeficientes anteriores, todos los valores son negativos, lo que representan succión. Una vez obtenido el coeficiente promedio en el larguero al arrancar la armadura se tiene lo siguiente:

$$\underline{\underline{C = -1.50}}$$

- ❖ Como la relación de aberturas es menor al 30%, se usará el dato obtenido en el paso 2 para la determinación de las aberturas (n) al igual que para el cálculo de presiones interiores.

#### Paredes longitudinales

$$n = \left( \frac{113.37}{880} \right) 100 = 12.88\% < 30\%$$

Paredes transversales: Como no se cuenta con ventanas o puertas del lado transversal la n será cero.

$$n = 0 < 30\%$$

Barlovento:

$$C = 0.80 \left( \frac{12.88}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{12.88}{30} \right) = 0.51, 0.17$$

Sotavento:

$$C = -0.60 \left( \frac{0}{30} \right) \pm 0.30 \left( 1 - \frac{0}{30} \right) = -0.30, -0.30$$

Sumatoria:

$$\text{Coef. } I_+ = 0.81$$

$$\text{Coef. } I_- = -0.13 \leftarrow \text{ Se usa por ser el valor más crítico.}$$

Coeficiente de diseño:

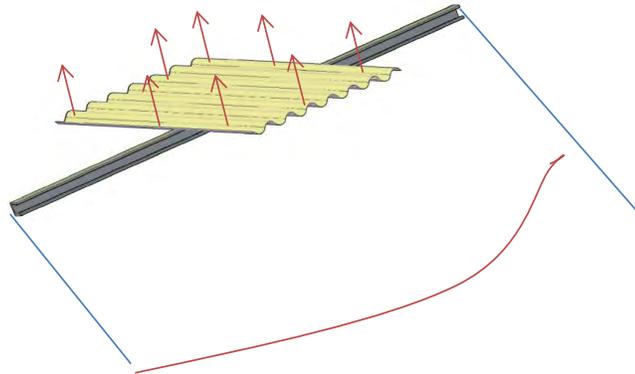
$$C = -1.25 + -0.13 = \underline{-1.63} \leftarrow \text{ Coeficiente usado para el cálculo de la presión.}$$

Presión del viento:

$$P = 43 * -1.63 = \underline{-70.09} \leftarrow \text{ Se presenta succión debido al signo negativo.}$$

- ❖ Para obtener el momento que genera el viento al actuar, se considera la siguiente fórmula:

$$M_{\text{viento}} = \frac{WvL^2}{8} \quad Wv = P * \text{Distancia entre largueros.}$$



$$Wv = -70.09 * 2.53 = -177.33$$

$$M_{\text{viento}} = \frac{(-177.33 * 5^2)}{8} = -554.16 \text{ kg/m}$$

$$M_x = -554.16 + \frac{(4.74 * 5^2)}{8} = -539.35 \text{ kg/m}$$

$$M_y = 59.27 \text{ kg/m}$$

$$F_{bx} = 1506.99 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{by} = 1423.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{bx} + F_{by} = 2930.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Permisible} = 1.33 * F_b = 3072.3 \text{ kg/cm}^2$$

$F_{bx} + F_{by} < 3072.3$   $\leftarrow$  Se acepta ya que sólo está 4.85% sobrada.

## 5.2 Diseño de la armadura grande con 2 apoyos.

Los datos, fórmulas y artículos que se presentarán a continuación fueron substraídos del Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, (RCEM), por lo que si se presenta alguna duda esta podrá ser aclarada en dicho reglamento.

- ❖ Para poder diseñar la armadura es necesario que se obtengan el peso de la cubierta ya previamente obtenido y el peso de la armadura, lo cual será posible gracias a la siguiente fórmula:

$$W = 0.0985 \sqrt{\frac{wa}{s}} (43.055L^2 + 196.85L) \quad w_a = \frac{W}{L \cdot a}$$

Donde:

W= Peso total de la armadura en kg.

w= Peso de la cubierta en kg/m<sup>2</sup>.

a= Distancia centro a centro de la armadura en m.

s= Esfuerzo de fluencia del acero en kg/cm<sup>2</sup>.

L= Claro de la armadura en m.

- ❖ Después de definir las incógnitas y sustituyendo los valores en la fórmula la ecuación queda de la siguiente manera:

$$W = 0.0985 \sqrt{\frac{11.87(5)}{3200}} (43.055(50)^2 + 196.85(50))$$

$$\underline{W=1575.65 \text{ kg}}$$

$$w_a = \frac{1575.65}{50 \cdot 5} \quad w_a = \underline{6.30 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Una vez obtenidos los pesos necesarios de la armadura, se requiere obtener el peso total sobre la armadura, el cual se determina con la sumatoria del peso de la cubierta más el peso propio de la armadura, como se muestra a continuación:

$$W_t = 11.87 + 6.30 = \underline{18.17 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Después de tener todos los pesos necesarios se propone un diseño de armadura, el cual estará a libre albedrío del calculista. A continuación se muestra una de las 4 armaduras propuestas para este proyecto:

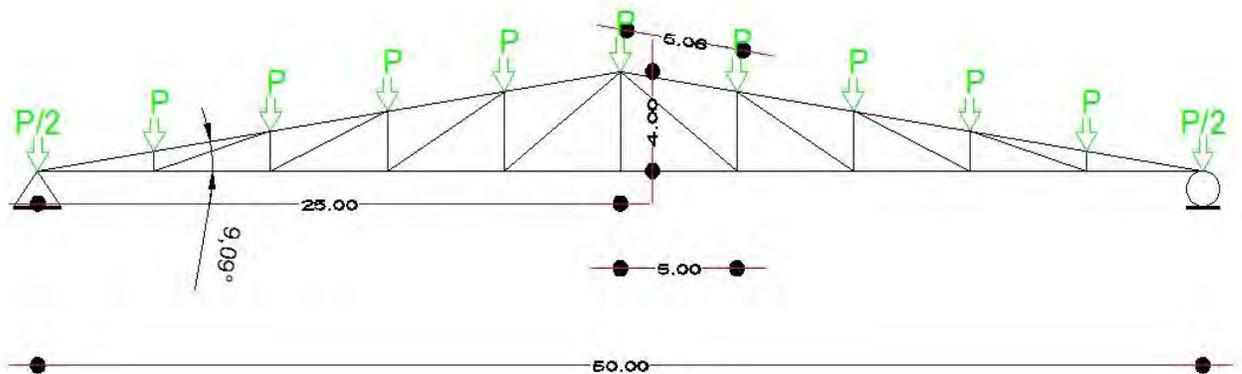


Imagen 5.1: Propuesta de armadura para claro de 50 m y 2 apoyos.

Fuente: Propia.

- ❖ Ya con la propuesta de la armadura determinada se prosigue a sacar las cargas actuantes sobre esta, y dicho procedimiento se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{a \cdot L \cdot wt}{\# \text{ Cargas}}$$

$$P=454.21 \text{ kg} \quad P/2= 227.10 \text{ kg}$$

- ❖ Ya definidas las cargas sobre la armadura se procede a diseñarla, tomando en cuenta las especificaciones del RCEM y considerando que las relaciones de esbeltez son:

**Para tensión:**

Elementos primarios=  $kl/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

Elementos secundarios=  $kl/r < 300 \text{ kg/cm}^2$

**Para compresión:**

Elementos primarios=  $kl/r < 200 \text{ kg/cm}^2$

Elementos secundarios=  $kl/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

### 5.2.1 Diseño de las barras a tensión.

En este capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a tensión como son las diagonales y el cordón inferior.

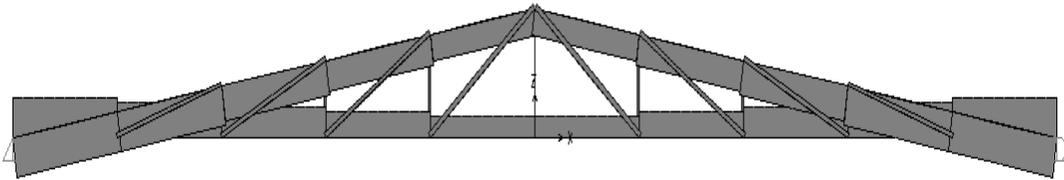
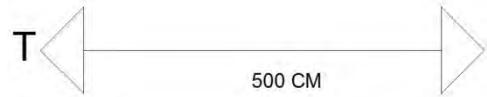


Imagen 5.2 Carga axial de armadura de claro claro de 50 m y 2 apoyos.

Fuente: Propia.

**Diseño de Cordón Inferior**

Tensión= 23977.51 kg  
 Longitud= 500 cm  
 K= 1



**Acero Tubo**

fy= 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
 ft= 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
 Área req. = 11.35 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**

**Tubo de 3" cédula 40**

Área= 14.4 cm<sup>2</sup>  
 Peso= 11.3 kg  
 rx=ry= 3 cm

**Relación de esbeltez**

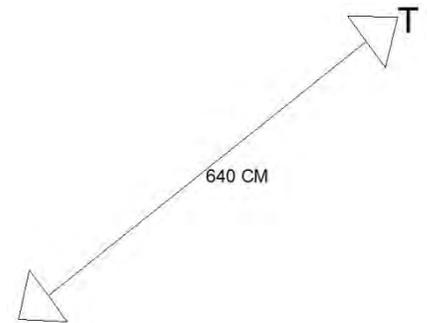
kL/r= 166.67



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

**Diseño de Diagonales**

Tensión= 3418 kg  
 Longitud= 640 cm  
 K= 1



**Acero Tubo**

fy= 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
 ft= 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
 Área req. = 1.62 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**

**Tubo de 3" cédula 40**

Área= 14.4 cm<sup>2</sup>  
 Peso= 11.3 kg  
 rx=ry= 3 cm

**Relación de esbeltez**

kL/r= 213.33



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

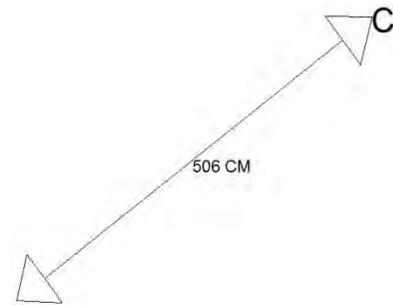
### 5.2.2 Diseño de las barras a compresión.

En el presente capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a compresión como son los montantes y el cordón superior.

#### Diseño de Cordón Superior

Compresión= 24291.63 kg  
 Longitud= 506 cm  
 K= 1

$f_y$ = 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
 $f_t$ = 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
 Área req. = 11.50 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto                      Tubo de 5" cédula 40**

Área= 27.8 cm<sup>2</sup>  
 Peso= 21.8 kg  
 $r_x=r_y$ = 4.8 cm

**Relación de esbeltez**  
 $kL/r$ = 105.42



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

$kL/r)_c$ = 112.08 >

105.42



La relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.

$f_a$ = 931.04

$C_{admisible}$ = 25883.00 kg



Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

Diseño de Montantes

**Compresión=** 1976.3 kg  
**Longitud=** 320 cm  
**K=** 1  
  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 0.94 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**      **Tubo de 2" cédula 40**

**Área=** 6.9 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 5.4 kg  
**rx=ry=** 2 cm



**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 160.00



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 <

160.00



**fa=** 422.41

La relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.

**C<sub>admisible</sub>=** 2914.63 kg



Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

- ❖ Cuando se definan los perfiles necesarios para el correcto comportamiento y una adecuada resistencia de la armadura ante las diferentes cargas actuantes se procede a hacer una sumatoria de pesos para así comparar la propuesta inicial, con el peso obtenido, como se muestra a continuación:

**SUMATORIA DE PESOS**

	<b>LONGITUD</b>	<b>PESO</b>	<b>PESO REAL</b>
<b>CORDÓN SUPERIOR</b>	50.64	21.8	1103.952
<b>CORDÓN INFERIOR</b>	50	11.3	565
<b>DIAGONALES</b>	46.28	11.3	522.964
<b>MONTANTES</b>	20	5.4	108
<b>W=</b>			<b>2299.92 &gt; 1575.6</b>

Tabla 5.1.- Obtención del peso de la armadura propuesta.

Fuente: Propia

- ❖ Como se puede observar en la tabla 5.1 el peso real es mayor al peso propuesto, por lo que se debe tomar un peso  $W$  de la armadura que pase el peso real obtenido y volver a calcular las cargas que actúan en la armadura y rediseñar la armadura. En este caso propondremos el siguiente peso:

**W=2700 kg**

- ❖ Resuelto ya el peso necesario de la armadura, se requiere obtener el peso total sobre la armadura, el cual se determina con la sumatoria del peso de la cubierta más el peso propio de la armadura, como se muestra a continuación:

$$W_t = 11.87 + 10.80 = \underline{22.67 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Con la propuesta de la armadura determinada se prosigue a sacar las cargas actuantes sobre esta, y dicho procedimiento se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{a * L * w_t}{\# \text{ Cargas}}$$

$$P = 566.65 \text{ kg}$$

$$P/2 = 283.32 \text{ kg}$$

- ❖ Ya obtenidas las cargas sobre la armadura se procede a diseñarla, tomando en cuenta las especificaciones del RCEM y considerando que las relaciones de esbeltez son:

**Para tensión:**

$$\text{Elementos primarios} = KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Elementos secundarios} = KL/r < 300 \text{ kg/cm}^2$$

### Para compresión:

Elementos primarios=  $KL/r < 200 \text{ kg/cm}^2$

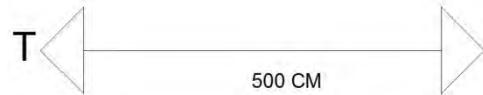
Elementos secundarios=  $KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

### 5.2.3 Rediseño de las barras a tensión.

En este capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a tensión como son las diagonales y el cordón inferior.

#### Diseño de Cordón Inferior

Tensión= 27127.51 kg  
Longitud= 500 cm  
K= 1



#### Acero Tubo

$f_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$   
 $f_t = 2112 \text{ kg/cm}^2$   
Área req. = 12.84  $\text{cm}^2$

#### Perfil propuesto

#### Tubo de 3" cédula 40

Área= 14.4  $\text{cm}^2$   
Peso= 11.3 kg  
 $r_x = r_y = 3 \text{ cm}$

#### Relación de esbeltez

$kL/r = 166.67$

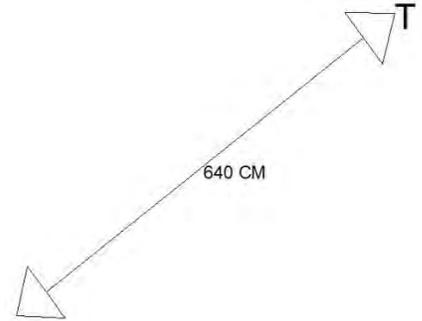


La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

Diseño de Diagonales

Tensión= 3957.82 kg  
 Longitud= 640 cm  
 K= 1

**Acero Tubo**  
 fy= 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
 ft= 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
 Área req. = 1.87 cm<sup>2</sup>



<b>Perfil propuesto</b>	<b>Tubo de 3" cédula 40</b>
Área=	14.4 cm <sup>2</sup>
Peso=	11.3 kg
rx=ry=	3 cm

**Relación de esbeltez**  
 kL/r= 213.33



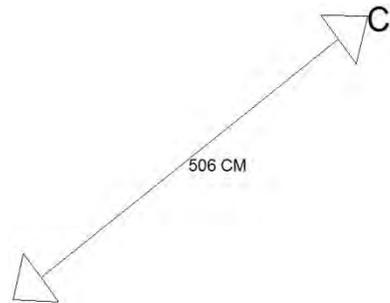
La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

### 5.2.4 Rediseño de las barras a compresión.

En el presente capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a compresión como son los montantes y el cordón superior.

Diseño de Cordón Superior
---------------------------

**Compresión=** 27481.7 kg  
**Longitud=** 506 cm  
**K=** 1  
  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 13.01 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto**                      **Tubo de 6" cédula 40**

**Área=** 36 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 28.2 kg  
**rx=ry=** 5.7 cm

**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 88.77      ←      La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08      >      88.77      ←      La relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-2.  
**fa=** 1145.85

**C<sub>admissible</sub>=** 41250.56 kg      ←      Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

Diseño de Montantes

**Compresión=** 2256.3 kg  
**Longitud=** 320 cm  
**K=** 1

**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 1.07 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**                      **Tubo de 2" cédula 40**

**Área=** 6.9 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 5.4 kg  
**rx=ry=** 2 cm



**Relación de esbeltez**

**kL/r=** 160.00

La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 <

160.00

La relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.

**fa=** 422.41

**C<sub>admisible</sub>=** 2914.63 kg

Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

- ❖ Una vez obtenidos los perfiles necesarios para el correcto comportamiento y una adecuada resistencia de la armadura ante las diferentes cargas actuantes se procede a hacer una sumatoria de pesos para así comparar la propuesta inicial, con el peso obtenido, como se muestra a continuación:

**SUMATORIA DE PESOS**

	<b>LONGITUD</b>	<b>PESO</b>	<b>PESO REAL</b>
<b>CORDÓN SUPERIOR</b>	50.64	28.2	1428.048
<b>CORDÓN INFERIOR</b>	50	11.3	565
<b>DIAGONALES</b>	46.28	11.3	522.964
<b>MONTANTES</b>	20	5.4	108
<b>W=</b>			<b>2624.01 &lt; 2700</b>

Tabla 5.2: Obtención del peso de la armadura propuesta.

Fuente: Propia

- ❖ Como se puede observar en la tabla 5.2, el peso real es menor al peso propuesto por un 2.9%, por lo que la armadura se acepta.

### 5.3 Diseño de la armadura chica con 2 apoyos.

Para poder diseñar la armadura es necesario que se obtengan el peso de la cubierta ya previamente obtenido y el peso de la armadura, lo cual será posible gracias a la siguiente fórmula:

$$W = 0.0985 \sqrt{\frac{wa}{s}} (43.055L^2 + 196.85L) \quad w_a = \frac{W}{L*a}$$

Donde:

W= Peso total de la armadura en kg.

w= Peso de la cubierta en kg/m<sup>2</sup>.

a= Distancia centro a centro de la armadura en m.

s= Esfuerzo de fluencia del acero en kg/cm<sup>2</sup>.

L= Claro de la armadura en m.

- ❖ Cuando se tengan definidas las incógnitas y sustituyendo los valores en la fórmula la ecuación queda de la siguiente manera:

$$W = 0.0985 \sqrt{\frac{11.87(5)}{3200}} (43.055(30)^2 + 196.85(30))$$

$$\underline{W=598.91 \text{ kg}}$$

$$w_a = \frac{598.91}{30*5}$$

$$w_a = \underline{3.99 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Ya que se tienen los pesos necesarios de la armadura, se requiere obtener el peso total sobre la armadura, el cual se determina con la sumatoria del peso de la cubierta más el peso propio de la armadura, como se muestra a continuación:

$$W_t = 11.87 + 3.99 = \underline{15.86 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Ya con todos los pesos necesarios se propone un diseño de armadura, el cual estará a libre albedrío del calculista. A continuación se muestra una de las 4 armaduras propuestas para este proyecto:

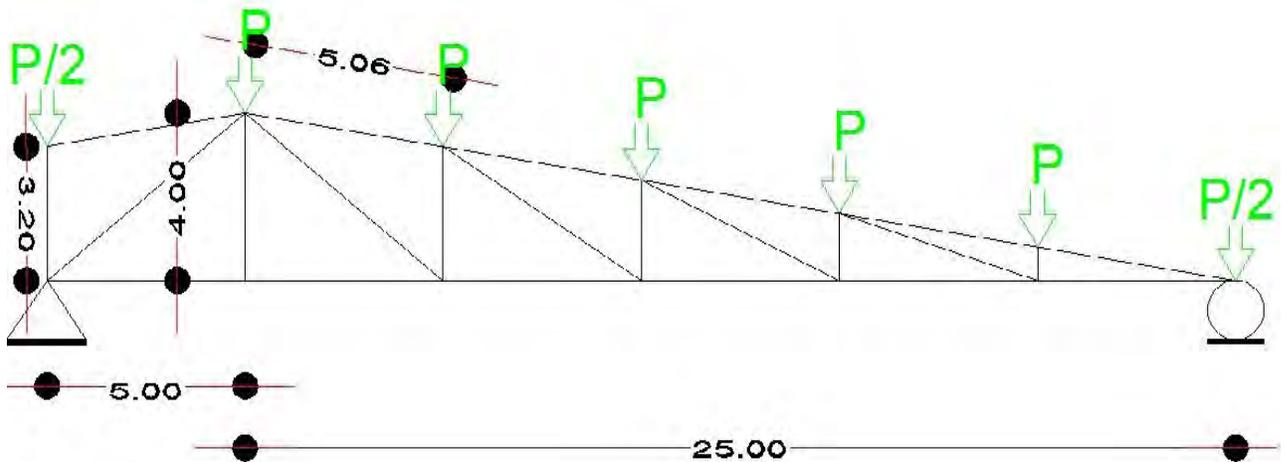


Imagen 5.3: Propuesta de armadura para claro de 30 m y 2 apoyos.

Fuente: Propia.

- ❖ Propuesta la armadura determinada se prosigue a sacar las cargas actuantes sobre esta, y dicho procedimiento se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{a \cdot L \cdot wt}{\# \text{ Cargas}}$$

$$P=396.46 \text{ kg} \quad P/2= 198.23 \text{ kg}$$

- ❖ Una vez obtenidos las cargas sobre la armadura se procede a diseñarla, tomando en cuenta las especificaciones del RCEM y considerando que las relaciones de esbeltez son:

**Para tensión:**

Elementos primarios=  $KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

Elementos secundarios=  $KL/r < 300 \text{ kg/cm}^2$

**Para compresión:**

Elementos primarios=  $KL/r < 200 \text{ kg/cm}^2$

Elementos secundarios=  $KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

### 5.3.1 Diseño de las barras a tensión.

En este capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a tensión como son las diagonales y el cordón inferior.

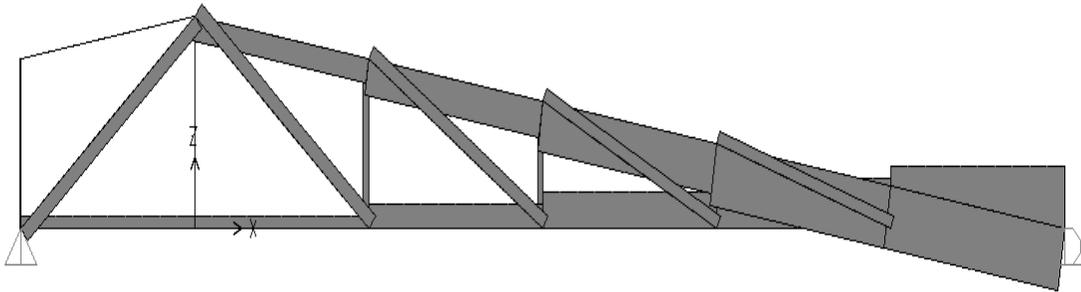
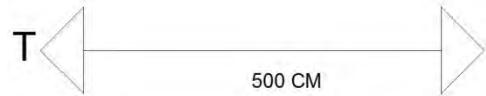


Imagen 5.3: Carga axial de armadura de claro de 30 m y 2 apoyos.

Fuente: Propia

### Diseño de Cordón Inferior

**Tensión=** 12134.24 kg  
**Longitud=** 500 cm  
**K=** 1



**Acero Tubo**  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 5.75 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto** **Tubo de 2 1/2" cédula 40**  
**Área=** 11 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 8.6 kg  
**rx=ry=** 2.4 cm

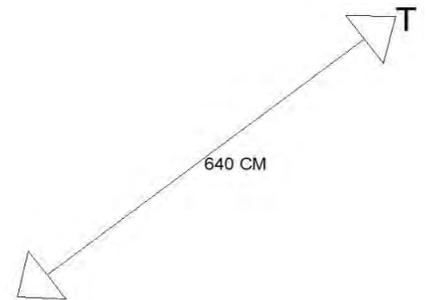
**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 208.33



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

### Diseño de Diagonales

**Tensión=** 3277.49 kg  
**Longitud=** 640 cm  
**K=** 1



**Acero Tubo**  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 1.55 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto** **Tubo de 3" cédula 40**  
**Área=** 14.4 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 11.3 kg  
**rx=ry=** 3 cm

**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 213.33



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

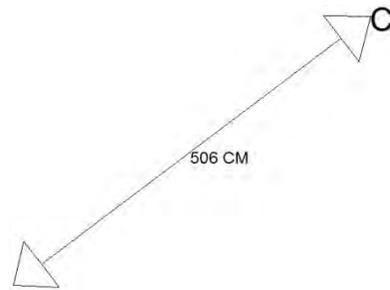
### 5.3.2 Diseño de las barras a compresión.

En el presente capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a compresión como son los montantes y el cordón superior.

Diseño de Cordón Superior
---------------------------

**Compresión=** 12297.73 kg  
**Longitud=** 506 cm  
**K=** 1

**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 5.82 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto**      **Tubo de 4" cédula 40**

**Área=** 20.6 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 16.1 kg  
**rx=ry=** 3.8 cm

**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 133.16



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 < 133.16



Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

**fa=** 609.87

**C admisible=** 12563.42 kg



Diseño de Montantes

**Compresión=** 1831.3 kg  
**Longitud=** 320 cm  
**K=** 1  
  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 0.87 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**      **Tubo de 2" cédula 40**

**Área=** 6.9 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 5.4 kg  
**rx=ry=** 2 cm



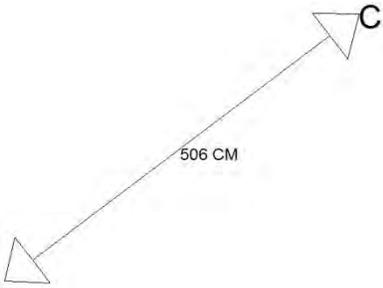
**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 160.00 ← La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 < 160.00 ← La relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.  
**fa=** 422.41

**C<sub>admisible</sub>=** 2914.63 kg ← Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

Diseño de Diagonal a Compresión

**Compresión=** 3352.87 kg  
**Longitud=** 506 cm  
**K=** 1  
**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 1.59 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto      Tubo de 3" cédula 40**

**Área=** 14.4 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 11.3 kg  
**rx=ry=** 3 cm

**Relación de esbeltez**  
**kL/r=** 168.67 ←

La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 < 168.67 ←

La relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.

**fa=** 380.12

**C admisible=** 5473.67 kg ←

Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

- ❖ Ya que se calcularon los perfiles necesarios para el correcto comportamiento y una adecuada resistencia de la armadura ante las diferentes cargas actuantes se procede a hacer una sumatoria de pesos para así comparar la propuesta inicial, con el peso obtenido, como se muestra a continuación:

<b>SUMATORIA DE PESOS</b>
---------------------------

	<b>LONGITUD</b>	<b>PESO</b>	<b>PESO REAL</b>	
<b>CORDÓN SUPERIOR</b>	30.38	16.1	489.118	
<b>CORDÓN INFERIOR</b>	30	8.6	258	
<b>DIAGONALES</b>	23.14	11.3	261.482	
<b>MONTANTES</b>	15.2	4	60.8	
<b>DIAGONAL A COMPRESIÓN</b>	6.4	11.3	72.32	
		<b>W=</b>	1141.72	<b>&gt; 598.91</b>

Tabla 5.3: Obtención del peso de la armadura propuesta.

Fuente: Propia

- ❖ Como se puede observar en la tabla 5.3 el peso real es mayor al peso propuesto, por lo que se debe tomar un peso  $W$  de la armadura que sea mayor al peso real obtenido y volver a calcular las cargas que actúan en la armadura y rediseñar la armadura. En este caso propondremos el siguiente peso:

**W=1300 kg**

- ❖ Una vez obtenidos el peso necesario de la armadura, se requiere obtener el peso total sobre la armadura, el cual se determina con la sumatoria del peso de la cubierta más el peso propio de la armadura, como se muestra a continuación:

$$W_t = 11.87 + 8.67 = \underline{20.53 \text{ kg/m}^2}$$

- ❖ Ya con la propuesta de la armadura determinada se prosigue a sacar las cargas actuantes sobre esta, y dicho procedimiento se obtiene de la siguiente manera:

$$P = \frac{a \cdot L \cdot w_t}{\# \text{ Cargas}}$$

$$P = 513.31 \text{ kg} \quad P/2 = 256.66 \text{ kg}$$

- ❖ Con las cargas sobre la armadura ya determinadas se procede a diseñarla, tomando en cuenta las especificaciones del RCEM y considerando que las relaciones de esbeltez son:

**Para tensión:**

$$\text{Elementos primarios} = KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Elementos secundarios} = KL/r < 300 \text{ kg/cm}^2$$

### Para compresión:

Elementos primarios=  $KL/r < 200 \text{ kg/cm}^2$

Elementos secundarios=  $KL/r < 250 \text{ kg/cm}^2$

### 5.3.3 Rediseño de las barras a tensión.

En este capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a tensión como son las diagonales y el cordón inferior.

#### Diseño de Cordón Inferior

Tensión= 14087.37 kg

Longitud= 500 cm

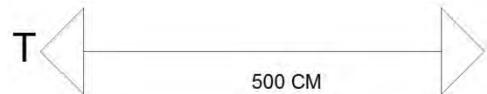
K= 1

#### Acero Tubo

$f_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$

$f_t = 2112 \text{ kg/cm}^2$

Área req. =  $6.67 \text{ cm}^2$



#### Perfil propuesto

#### Tubo de 3" cédula 40

Área=  $14.4 \text{ cm}^2$

Peso= 11.3 kg

$r_x = r_y = 3 \text{ cm}$

#### Relación de esbeltez

$kL/r = 166.67$



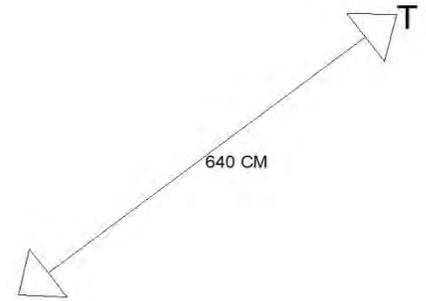
La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

### Diseño de Diagonales

**Tensión=** 3777.74 kg  
**Longitud=** 640 cm  
**K=** 1

**Acero Tubo**

**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 1.79 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto Tubo de 3" cédula 40**

**Área=** 14.4 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 11.3 kg  
**rx=ry=** 3 cm

**Relación de esbeltez**

**kL/r=** 213.33



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 250 para elementos principales sujetos a tensión.

### 5.3.4 Rediseño de las barras a compresión.

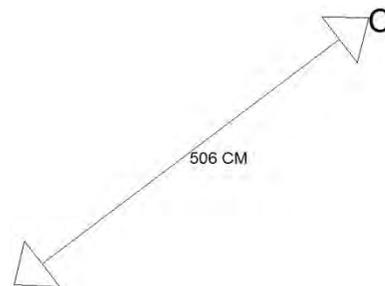
En el presente capítulo se diseñarán los componentes de la armadura chica con dos apoyos sometidos a compresión como son los montantes y el cordón superior.

### Diseño de Cordón Superior

**Compresión=** 14275.69 kg

**Longitud=** 506 cm  
**K=** 1

**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 6.76 cm<sup>2</sup>



**Perfil propuesto      Tubo de 5" cédula 40**

**Área=**                    27.8 cm<sup>2</sup>  
**Peso=**                    21.8 kg  
**rx=ry=**                    4.8 cm

**Relación de  
 esbeltez  
 kL/r=**

105.42 

La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a

**kL/r)<sub>c</sub>=**                    112.08 >

105.42 

**fa=**                    884.39

La relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-2.

**C<sub>admisible</sub>=**                    24585.95 kg 

Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

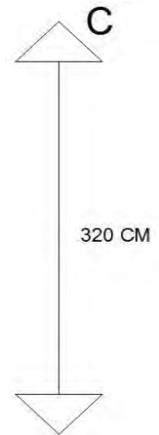
## Diseño de Montantes

**Compresión=** 2143.8 kg  
**Longitud=** 320 cm  
**K=** 1

**fy=** 3200 kg/cm<sup>2</sup>  
**ft=** 2112 kg/cm<sup>2</sup>  
**Área req. =** 1.02 cm<sup>2</sup>

**Perfil propuesto**      **Tubo de 2" cédula 40**

**Área=** 6.9 cm<sup>2</sup>  
**Peso=** 5.4 kg  
**rx=ry=** 2 cm



**Relación de esbeltez**

**kL/r=** 160.00



La relación de esbeltez cumple debido a que es menor a 200 para elementos principales sujetos a compresión.

**kL/r)<sub>c</sub>=** 112.08 <

160.00



**fa=** 422.41

La relación de esbeltez es mayor a la relación de esbeltez crítica por lo que se usará la ecuación 324-1.

**C<sub>admisible</sub>=** 2914.63 kg



Se acepta el perfil debido a que la compresión admisible es mayor a la requerida.

- ❖ Ya con los perfiles necesarios para el correcto comportamiento y una adecuada resistencia de la armadura ante las diferentes cargas actuantes se procede a hacer una sumatoria de pesos para así comparar la propuesta inicial, con el peso obtenido, como se muestra a continuación:

**SUMATORIA DE PESOS**

	<b>LONGITUD</b>	<b>PESO</b>	<b>PESO REAL</b>	
<b>CORDÓN SUPERIOR</b>	30.38	21.8	662.284	
<b>CORDÓN INFERIOR</b>	30	11.3	339	
<b>DIAGONALES</b>	23.14	11.3	261.482	
<b>MONTANTES</b>	15.2	5.4	82.08	
<b>DIAGONAL A COMPRESIÓN</b>	6.4	11.3	72.32	
		<b>W=</b>	1417.17	< <b>1450</b>

Tabla 5.4: Obtención del peso de la armadura propuesta.

Fuente: Propia

- ❖ Como se puede observar en la tabla 5.4, el peso real es menor al peso propuesto por un 1.04%, por lo que la armadura se acepta.

## 5.4 Diseño de la columna.

En el siguiente capítulo se calcularán las medidas necesarias de la columna para soportar las cargas a la que estará sometida, usando los datos de carga sobre la columna, relación de esbeltez, radio de giro en "x" y "y" entre otros datos. Se tomó el dato más desfavorable para el diseño de todas las columnas.

### Diseño de columna 2 CPS

Datos:		
P:	21.67	Ton
h:	5	m
K1:	2	
K2:	0.8	
fy:	2530	Kg/cm <sup>2</sup>

Radio de giro supuestos		
rx:	6.67	cm
ry	2.67	cm

Propuesta de solucion		
<b>2 CPS 10"</b>		
Area:	57.59	cm <sup>2</sup>
d:	25.4	cm
bf:	13.2	cm
tf:	1.11	cm
tw:	0.61	cm
rx:	9.83	cm
ry:	5.3	cm

Revision de pandeo local		
b/t (patin):	5.95	
b/t (alma):	41.64	
Patin Caso B1:	15.90	
	1	Si es 1, si cumple
Alma Caso B2:	41.75	
	1	Si es 1, si cumple

Nota: si las 2 casillas son 1, no habra pandeo local

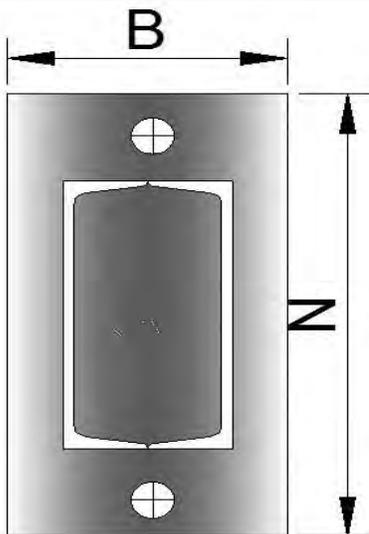
Esfuerzo de compresion permisible		
$\lambda 1$ (kl/r):	101.73	
$\lambda 2$ :	75.47	
KL/r critico:	126.05	
Fa:	1044.91	Kg/cm <sup>2</sup>

Carga resistente		
Pr:	60.18	Ton
P:	21.67	Ton
	1	Nota: este valor debe ser 1 para que este bien

### 5.5 Diseño de placa y anclaje.

El diseño de la placa es un factor importante en el diseño estructural, ya que sirve como transmisor de cargas de un elemento a otro, en el caso de este proyecto servirán para transmitir la carga de la armadura a la columna y de la columna al dado y posteriormente a las cimentación. El anclaje tiene la función de asegurar el elemento al dado para evitar desplazamientos o desprendimientos por acciones accidentales o mecánicas. A continuación se presenta el cálculo realizado para la determinación de la placa a utilizar y del anclaje necesario para asegurar nuestro elemento:

Diseño de Placas		
Datos:		
W columna:	42.52	Kg/m
Carg axial:	21.67	Ton
f'c zapata:	200	Kg/cm <sup>2</sup>
lado "a" de dado:	50	cm
lado "b" de dado:	50	cm
bf (columna):	5	"
d (columna):	10	"
d (columna):	25.4	cm



<b>Dimensiones de placa</b>		
Fp supuesto:	50	Kg/cm <sup>2</sup>
Area req de placa:	433.4	cm <sup>2</sup>
Relacion B-N:	2	
B:	14.72	cm
N:	29.44	cm
N:	11	"
B:	15.51	cm
A. real de placa:	433.4	cm <sup>2</sup>
A. dado:	2500	cm <sup>2</sup>
% A. cubierta/placa:	17.34	%
fy (placa):	2530	Kg/cm <sup>2</sup>

<b>Espesor de placa</b>		
m:	1.905	cm
n:	2.68	cm
Fp real:	50	Kg/cm <sup>2</sup>
g:	0.75	cm
g comercial:	2	"
	8	
<b>Diseño de anclas</b>		
V (permanente):	0.542	Ton
V (accidental):	2.167	Ton
V (total):	2.71	Ton
A req. anclas:	2.013	cm <sup>2</sup>
si se usan	2	anclas entonces
Area por ancla:	1.01	cm <sup>2</sup>
Φ ancla:	1.13	cm
Φ Comercial de ancla:	4	"
	8	
Φ real ancla:	1.27	cm
μ:	17	Kg/cm <sup>2</sup>
Long. Ancla:	48	cm

## 5.6 Diseño de soldadura.

El diseño de soldadura es muy importante en la construcción en acero, debido a que gracias a la soldadura todos los elementos se unen y trabajan como uno solo, evitando así la separación y falla de dichos elementos. A continuación se presentará el cálculo de soldaduras diseñado para unir las placas base con las columnas, las columnas con las armaduras y los elementos que conforman las armaduras:

<b>Soldadura de columna con placa de base.</b>		
<b>Capacidad de corte admisible</b>		
b=	10	"
Num. De pulgada/ octavos:	2	"
A a soldar:	16.13	cm <sup>2</sup>
fy:	2530	Kg/cm <sup>2</sup>
Fv:	1012	Kg/cm <sup>2</sup>
V:	16322.55	Kg
<b>Capacidad de soldadura</b>		
Long:	1	cm
Num. De pulgada/ octavos:	1	"
H:	0.318	cm
G:	0.225	cm
resistencia nominal:	1260	Kg/cm <sup>2</sup>
C:	282.8781	Kg
L. req. A soldar:	57.70	cm
L. req. A soldar por lado:	28.85	cm

<b>RESUMEN GENERAL</b>			
<b>ARMADURA GRANDE</b>			
		<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PESO</b>
	CORDÓN SUPERIOR	TUBO DE ACERO 6" CÉDULA 40	28.2 Kg
	CORDÓN INFERIOR	TUBO DE ACERO 12" CÉDULA 40	65.2 Kg
	MONTANTE	TUBO DE ACERO 3" CÉDULA 40	11.3 Kg
	DIAGONALES	TUBO DE ACERO 3" CÉDULA 40	11.3 Kg
<b>ARMADURA CHICA</b>			
		<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PESO</b>
	CORDÓN SUPERIOR	TUBO DE ACERO 5" CÉDULA 40	21.8 Kg
	CORDÓN INFERIOR	TUBO DE ACERO 3" CÉDULA 40	11.3 Kg
	MONTANTE	TUBO DE ACERO 2" CÉDULA 40	5.4 Kg
	DIAGONALES	TUBO DE ACERO 3" CÉDULA 40	11.3 Kg
	DIAGONAL A COMPRESIÓN	TUBO DE ACERO 3" CÉDULA 40	11.3 Kg
<b>COLUMNA</b>			
	MATERIAL	2 CPS DE 10"	
	ÁREA	57.59 cm <sup>2</sup>	
	D	25.4 cm	
	Rx	9.83 cm	
	Ry	5.3 cm	
<b>PLACA Y ANCLAJE</b>			
	DIMENSIÓN DE PLACA	15cm x 28cm	
	ESPESOR DE PLACA	1/4"	
	VARILLA PARA ANCLAJE	2 varillas del #4	
	LONGITUD DE ANCLAJE	48cm	
<b>CUBIERTA</b>			
<p>El tipo de cubierta a utilizar en este proyecto, es un panel de calibre 20 tipo sándwich compuesto por un núcleo de espuma rígida de poliuretano y dos caras de acero de calibre 26, tiene una longitud de hasta 11.80 m y un ancho efectivo de 1 m, cuyo peso es de 9.85 Kg/m<sup>2</sup>.</p>			

Una vez ya obtenidas las medidas de los tubos para realizar las armaduras y los ángulos en cajón para la elaboración de las columnas, se colocaron todos los miembros que actuarán en el proyecto unidos en el programa de diseño SAP 2000 y las imágenes que se obtuvieron fueron las siguientes:

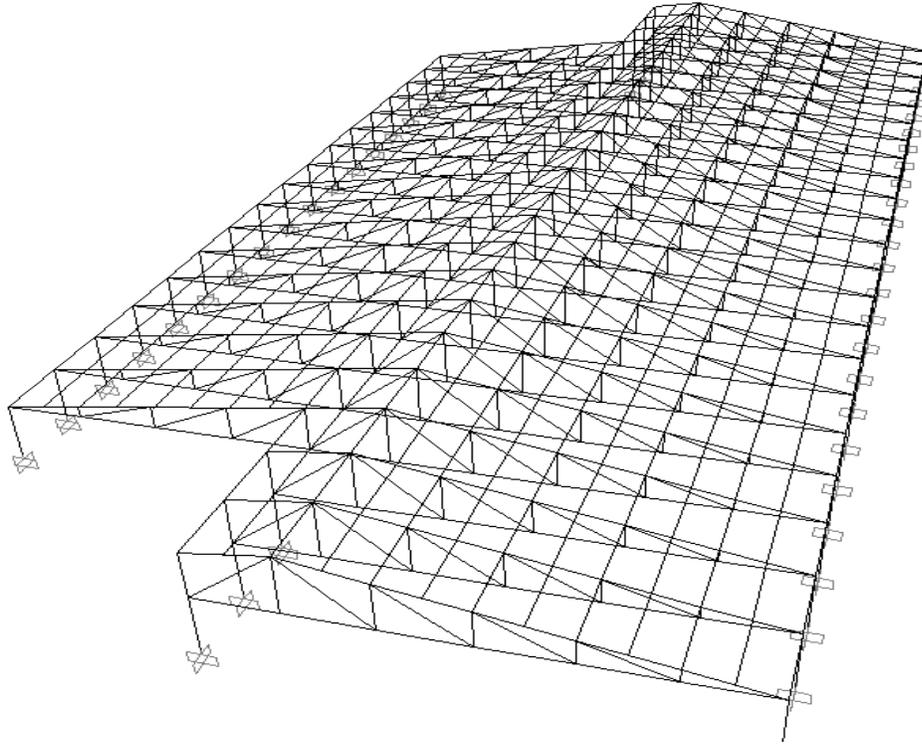


Imagen 5.4: Vista de los elementos calculados trabajando en conjunto.

Fuente: Propia

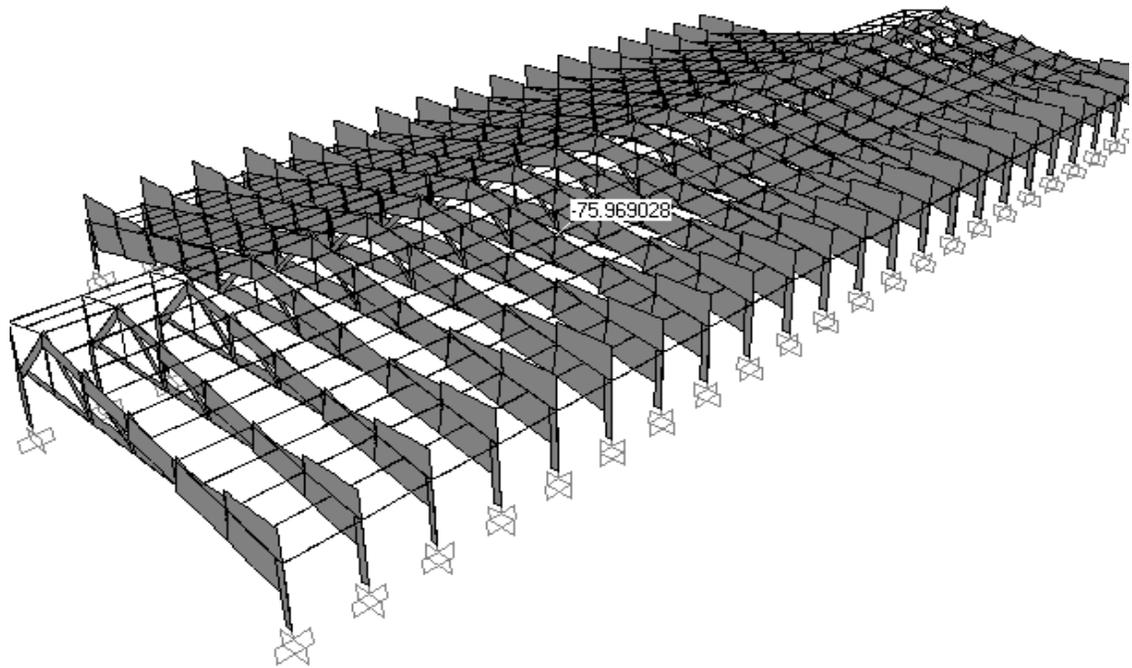


Imagen 5.5: Vista de los elementos con diagramas de carga axial.

Fuente: Propia

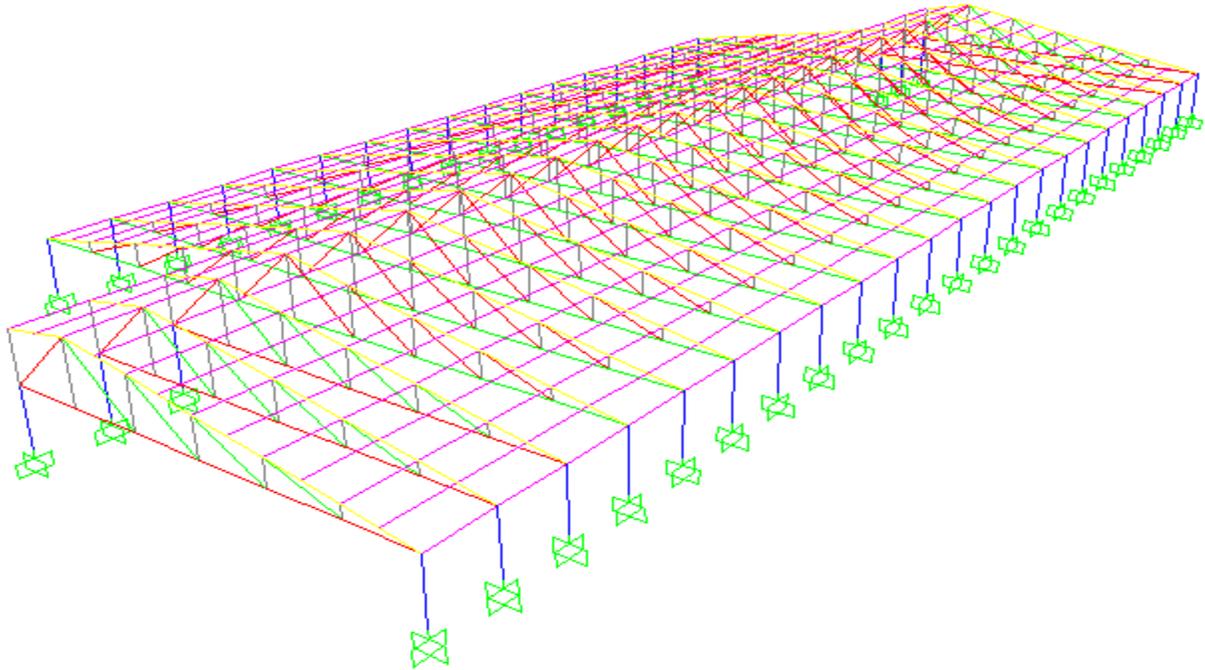


Imagen 5.6: Vista de los distintos elementos que conforman el proyecto.

Fuente: Propia

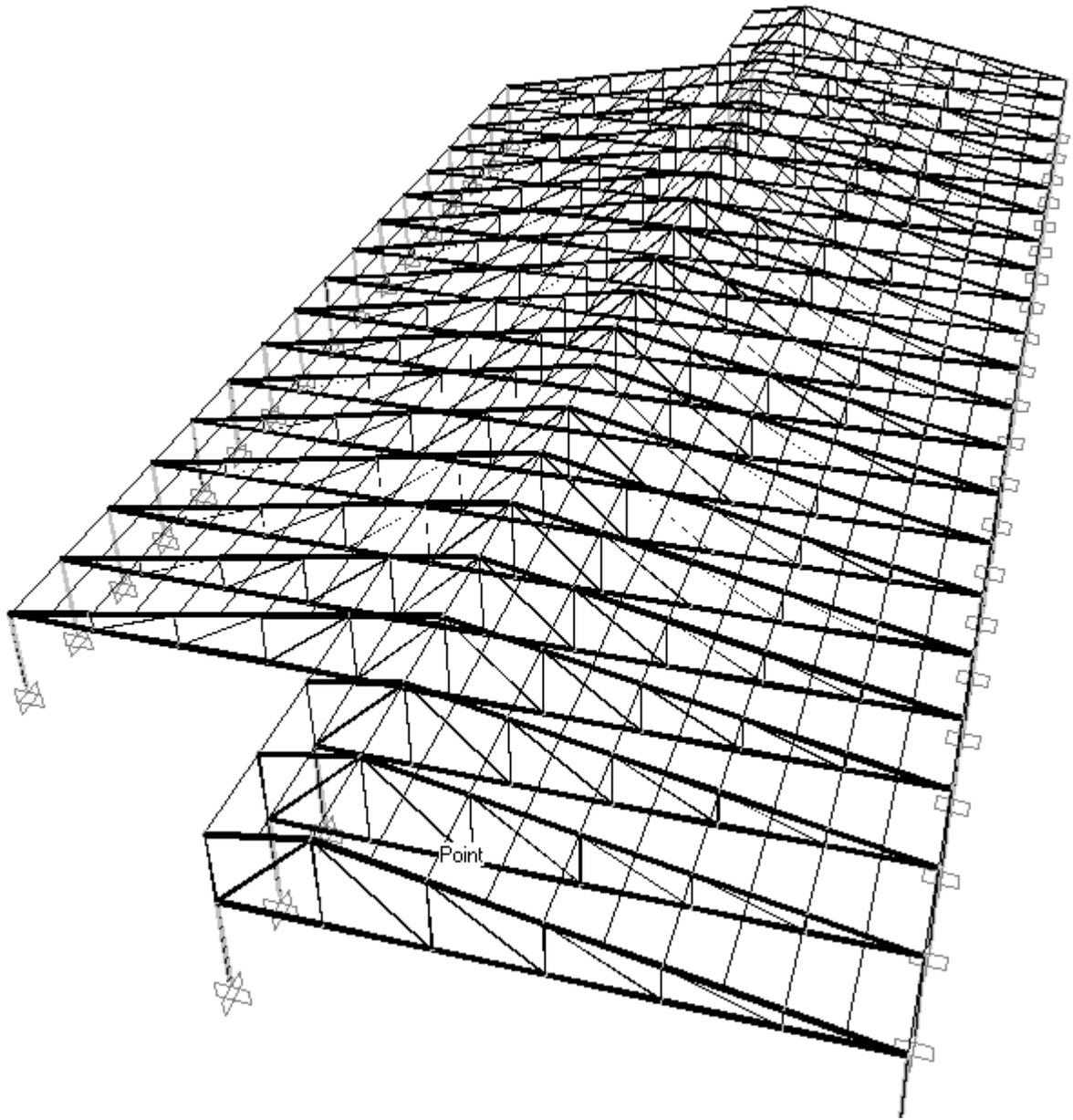


Imagen 5.7: Vista de los elementos con espesores respectivos.

Fuente: Propia

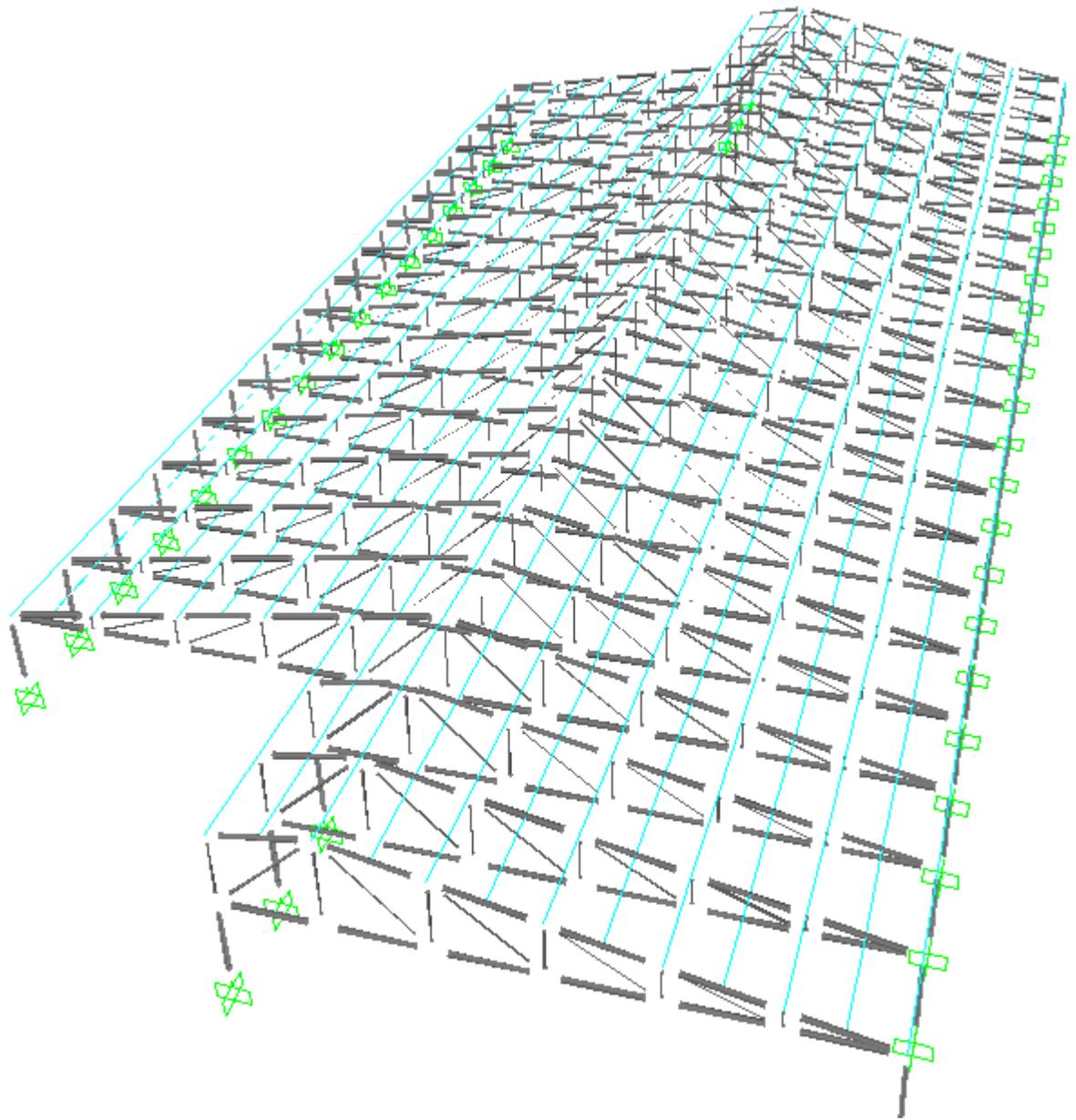


Imagen 5.8: Vista de los nodos de las armaduras trabajando como articulaciones.

Fuente: Propia

Con los resultados obtenidos mediante los cálculos realizados con anterioridad en la presente investigación, se puede concluir que se cumplió de una forma satisfactoria con los objetivos propuestos con anterioridad en los primeros capítulos, tales como crear un sistema de armaduras capaces de resistir las cargas actuantes sobre ella y salvaguardar la integridad de las personas bajo estas mismas, dicho dato se puede corroborar con los desplazamientos verticales o deformaciones que presenta la armadura los cuales no son mayores a los permisibles de acuerdo al Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, así como también seleccionar un material adecuado para el correcto desempeño de la techumbre del proyecto, debido a que el clima de la región es muy variado y se pueden presentar deficiencias laborales por causas externas, otro de los objetivos fue seleccionar un material para la cubierta adecuado para evitar la entrada y salida de ruidos además de demostrar la gran importancia que tiene el cálculo estructural en la elaboración de proyectos.

## CONCLUSIONES

Como se ha podido observar, en los últimos años el diseño estructural ha ido tomando una importancia cada vez mayor en la vida del ser humano, desde su aparición en la tierra, esto debido a la constante necesidad de crecer y evolucionar, ya que cada vez el hombre busca una mejora constante en lo que crea.

Las necesidades del ser humano van cambiando por lo que se vio obligado a implementar nuevas técnicas de construcción para obras más grandes y complejas, por lo que fue una necesidad casi fundamental el estudio de los materiales, como su comportamiento ante ciertas condiciones tanto climáticas, de carga y mecánico. Es de esta forma que el hombre implementa métodos de análisis y diseño de diferentes estructuras a utilizar.

En el presente trabajo se logró analizar y diseñar una nave industrial en acero para un empaque de aguacate en la ciudad de Uruapan, Michoacán, lo cual fue el objetivo principal del presente trabajo, dando solución también al objetivo particular número 1 que era crear una estructura funcional, capaz de garantizar la seguridad de los trabajadores y equipo dentro de ella, asegurando así el correcto funcionamiento de la estructura durante toda su vida útil ante todas las cargas a la que se estará sometiendo día a día. Debido a que cada día las armaduras estarán sujetas a la acción del viento de diferente intensidad dependiendo la época del año, también soportarán cargas vivas y por granizo, lluvia, entre otras.

Se optó por un sistema de armaduras debido a los claros tan grandes que se presentan, siendo éstas una solución eficaz y rápida para la construcción del empaque de aguacate, además de que de ellas se pueden colgar los sistemas de luminarias necesarios para el desempeño adecuado de los trabajadores.

Para poder dar solución al objetivo particular número 2 que fue determinar el material idóneo para armaduras cuyos claros son grandes, se decidió emplear como material un tubo de acero para los sistemas de armaduras, las dimensiones de los tubos fueron determinadas por las fuerzas de tensión y compresión que se obtuvieron en el programa de diseño SAP 2000. El motivo principal por el que se utilizó este material fue porque gracias a su forma redonda no permite la acumulación excesiva de polvo ni otras partículas que dañen la fruta que se almacenará y manejará en este proyecto debido a que los reglamentos de exportación de fruta a otras naciones son muy exigentes y no permiten de ninguna manera la presencia de polvo u otras partículas, así como animales o bacterias.

De acuerdo con el objetivo particular número 4 que fue diseñar las uniones de las diferentes piezas de la estructura se logró cumplir debido a que el diseño de proyecto se realizó todo en acero las uniones pueden ser de dos tipos, uniones atornilladas y uniones por soldadura. La unión que se empleará en este proyecto es la soldadura, por lo cual se calculó de acuerdo al Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán, (RCEM), quedando las uniones de los montantes y las diagonales soldadas a los cordones inferiores y superiores. La unión entre la armadura y las columnas también será por medio de la soldadura. Este objetivo se

pudo cumplir gracias a que el esfuerzo cortante que se aplicaba en el área a soldar se cubre perfectamente con la longitud de la soldadura.

El objetivo particular número 5 fue determinar una lámina por medio del análisis estructural, que evite el paso del ruido del exterior hacia el interior, por lo que después de tiempo de investigación y consultas a distintos proveedores se tomó la decisión de utilizar un panel tipo sándwich compuesto por un núcleo de espuma rígida de poliuretano lo cual impide la entrada de sonidos del exterior a la parte interior de la construcción, este núcleo está protegido por dos caras de acero de alta calidad. Lo anterior nos da la solución a la problemática del sonido y la solución al objetivo planteado.

Con respecto a la pregunta de investigación, que indicaba ¿Cuál es el diseño adecuado de una nave industrial para un empaque de aguacate?, se llegó a responder después de un arduo trabajo de investigación y cálculos realizados encontrándose que hay diferentes estilos o métodos de construcción para empaques de aguacate debido a que las dimensiones a construir, gustos y exigencias serán siempre diferentes y debido a ellas se podrán emplear sistemas de armaduras o sistemas de arco-techo pero lo que sí es igual para todos los empaques son los reglamento de cuidado de instalaciones y cuidado de la fruta. Sin embargo, en este trabajo se empleó un sistema de armaduras y columnas de acero debido a la rapidez de construcción y por los claros que se presentan en la obra, los cuales son muy grandes para los sistemas de arco-techo.

Dentro de los hallazgos teóricos relevantes en el transcurso de la investigación, se presentó la forma de considerar la carga viva para obtener las cargas puntuales sobre la armadura y así poderla analizar en el programa de diseño SAP 2000, dado que se tomaba la carga viva y se dividía entre el área de la armadura lo cual era una forma errónea ya que daba menos de  $1\text{kg/m}^2$  lo que significaba que no podría subirse nadie a colocarla o darle mantenimiento. Después de tiempo de razonarlo se observó que la carga viva es en  $\text{kg/m}^2$  y no se necesitaba dividir entre el área de la armadura, por lo que generalmente se maneja como  $100\text{kg/m}^2$ . Una vez diseñada la armadura se debe de comprobar la deformación vertical de la misma con la fórmula siguiente  $L/240$ , siendo (L) el claro de la armadura en cm, la deformación vertical no debe rebasar el resultado de dicha fórmula.

Además del dato mencionado con anterioridad se aprendió que para analizar una armadura en el SAP 2000 es necesario indicar que los nodos de la armadura trabajan como articulaciones para que sus barras trabajen sólo a carga axial. Los cálculos se basaron además del RECM, en los contenidos aprendidos en clase y la ayuda brindada por los diferentes ingenieros y profesores.

## BIBLIOGRAFÍA

Bowles Joseph, E. (1993)

Diseño de acero estructural.

Ed. Limusa. México.

Cornejo Vázquez, Teódulo Iván (2008).

Diseño estructural de una casa modular de dos niveles con elementos prefabricados de acero y placas de concreto.

Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A.C., de la ciudad de Uruapan, Michoacán, México..

Hernandez Sampieri, Roberto y Cols. (2007)

Metodología de la investigación.

Ed. McGraw-Hill. México.

Meli Piralla, Roberto. (2004)

Diseño estructural.

Ed. Limusa. México.

Mendieta Alatorre (2005)

Métodos de investigación y manual académico.

Ed. Porrúa. México.

Navarrete Calderón, Guillermo; Parra Macías, Sandra Natalia (199 ).

Análisis y diseño estructural para un estadio de futbol de segunda división en Uruapan Mich.

Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A.C., de la ciudad de Uruapan, Michoacán, México.

S. Merritt, Frederick et. al. (1997)

Manual del ingeniero civil.

Ed. Mc. Graw-Hill, 4° edición. México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

Vargas Jurado, Raúl (2012)

Diseño estructural de un teatro en la colonia la mora de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Tesis inédita de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A.C., de la ciudad de Uruapan, Michoacán, México.

[www.wikipedia.org.mx](http://www.wikipedia.org.mx)

[www.aceroyhierro.wordpress.com](http://www.aceroyhierro.wordpress.com)

[www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)

<http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Michoac%C3%A1n>

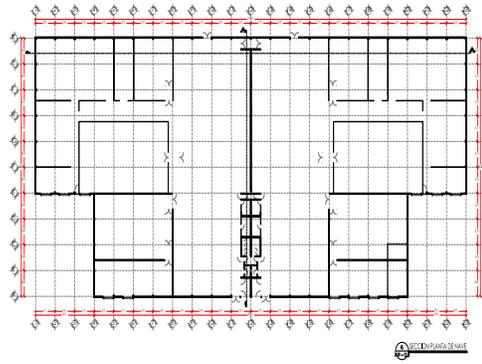
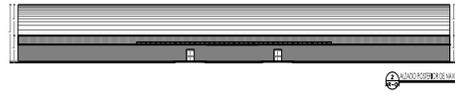
[https://www.google.com.mx/search?q=estado+de+michoacan&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=gfV\\_UraHH8zHkAfdzYGIDg&ved=0CAcQ\\_AUoAQ&biw=1280&bih=699#facrc=\\_&imgdii=\\_&imgrc=\\_TwNDlwZrRkAMM%3A%3B5ID6ATWa1rb-](https://www.google.com.mx/search?q=estado+de+michoacan&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=gfV_UraHH8zHkAfdzYGIDg&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1280&bih=699#facrc=_&imgdii=_&imgrc=_TwNDlwZrRkAMM%3A%3B5ID6ATWa1rb-)

fM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.patzcuaro.com%252Fimagenes%252Fmaps%252Fmapa\_mexico.

jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.patzcuaro.com%252Fcomo\_llegar%252F%3B692%3B500

[http://es.wikipedia.org/wiki/Uruapan\\_del\\_Progreso](http://es.wikipedia.org/wiki/Uruapan_del_Progreso)

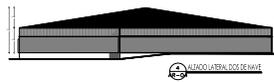
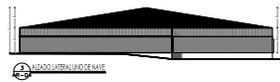
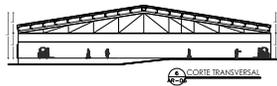
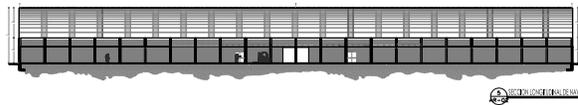
# ANEXOS



**PLANO ARQUITECTONICO**

PLANO DE TIPOLOGIA  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SERVICIOS  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE EQUIPAMIENTO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE MOBILIARIO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE VEGETACION  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE ILUMINACION  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SANEAMIENTO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SEGURIDAD  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE ACCESIBILIDAD  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SOSTENTABILIDAD

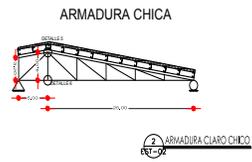
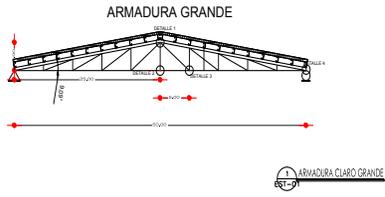
PROYECTO	
CLIENTE	
FECHA	
ESCALA	
PROYECTISTA	
REVISOR	
APROBADO	



**PLANO ARQUITECTONICO**

PLANO DE TIPOLOGIA  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SERVICIOS  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE EQUIPAMIENTO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE MOBILIARIO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE VEGETACION  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE ILUMINACION  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SANEAMIENTO  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SEGURIDAD  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE ACCESIBILIDAD  
 PLANO DE DISTRIBUCION DE SOSTENTABILIDAD

PROYECTO	
CLIENTE	
FECHA	
ESCALA	
PROYECTISTA	
REVISOR	
APROBADO	



**PLANO ARGUMENTACION**

1. OBJETIVO DEL PROYECTO

2. JUSTIFICACION

3. METODOLOGIA

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

6. REFERENCIAS

7. ANEXOS

8. GLOSARIO

9. INDICE

10. TABLA DE CONTENIDOS

11. LISTA DE FIGURAS

12. LISTA DE TABLAS

13. LISTA DE SIGLAS

14. LISTA DE ACRONIMOS

15. LISTA DE ABREVIATURAS

16. LISTA DE SIMBOLOS

17. LISTA DE UNIDADES

18. LISTA DE MATERIALES

19. LISTA DE EQUIPOS

20. LISTA DE PERSONAL

21. LISTA DE PRESUPUESTO

22. LISTA DE CUESTIONARIO

23. LISTA DE ENTREVISTAS

24. LISTA DE GRUPOS DE FOCOS

25. LISTA DE DOCUMENTOS

26. LISTA DE FUENTES

27. LISTA DE CITAS

28. LISTA DE REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

29. LISTA DE REFERENCIAS ELECTRONICAS

30. LISTA DE REFERENCIAS ORALES

31. LISTA DE REFERENCIAS VISUALES

32. LISTA DE REFERENCIAS AUDIOVISUALES

33. LISTA DE REFERENCIAS MULTIMEDIALES

34. LISTA DE REFERENCIAS DIGITALES

35. LISTA DE REFERENCIAS IMPRESAS

36. LISTA DE REFERENCIAS MANUSCRITAS

37. LISTA DE REFERENCIAS ARCHIVADAS

38. LISTA DE REFERENCIAS PUBLICADAS

39. LISTA DE REFERENCIAS NO PUBLICADAS

40. LISTA DE REFERENCIAS EN CURSO

41. LISTA DE REFERENCIAS EN REVISION

42. LISTA DE REFERENCIAS EN AUSENTE

43. LISTA DE REFERENCIAS EN OBTENCION

44. LISTA DE REFERENCIAS EN PROCESO

45. LISTA DE REFERENCIAS EN ESPERA

46. LISTA DE REFERENCIAS EN SUSPENSA

47. LISTA DE REFERENCIAS EN RECHAZADAS

48. LISTA DE REFERENCIAS EN REVISADAS

49. LISTA DE REFERENCIAS EN ACEPTADAS

50. LISTA DE REFERENCIAS EN REPROBADAS

51. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONSIDERADAS

52. LISTA DE REFERENCIAS EN REINICIADAS

53. LISTA DE REFERENCIAS EN REANUDADAS

54. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONSTITUIDAS

55. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONSTRUIDAS

56. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONVULSADAS

57. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONVULSADAS

58. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONVULSADAS

59. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONVULSADAS

60. LISTA DE REFERENCIAS EN RECONVULSADAS