



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE
MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES**

Jorge Humberto Chinchilla Leiva

Asesorado por el Ing. Manuel Eduardo Garnica López

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE
MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE HUMBERTO CHINCHILLA LEIVA

ASESORADO POR EL ING. MANUEL EDUARDO GARNICA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de abril de 2013.



Jorge Humberto Chinchilla Leiva

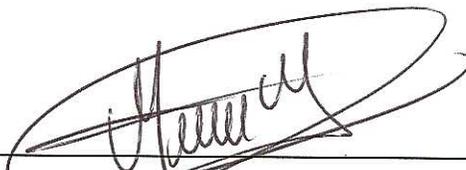
Guatemala, 10 de julio de 2013

Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

A quien interese:

Por medio de la presente hago saber, que el estudiante Jorge Humberto Chinchilla Leiva, con número de carne 200915538, ha completado el trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES;** y que he revisado, efectuado las correcciones que consideré pertinentes y aprobado el mismo, para dar seguimiento a los pasos que corresponden.

Sin otro particular, le saludo atentamente.



Ing. Manuel Eduardo Garnica López
Ingeniero Civil Colegiado No. 7589

Manuel Eduardo Garnica López
Ingeniero Civil
Colegiado No. 7589



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

30 de septiembre de 2013

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Humberto Chinchilla Leiva, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Eduardo Garnica López.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar

Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE
PLANEAMIENTO
USAC



/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Eduardo Garnica López y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Jorge Humberto Chinchilla Leiva, titulado **ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO ENTRE SISTEMAS DE LOSAS DE MADERA, ACERO, PREFABRICADAS Y LOSAS TRADICIONALES**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Humberto Chinchilla Leiva**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRIMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, octubre de 2013



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser nuestro creador, padre celestial y sobre todo por las bondades que me ha brindado.
- Mi madre** Argentina Leiva. Por cumplir no solo con grandezas su función de madre, sino también enormemente la función de padre.
- Mi abuela** Julia Díaz. Por la educación que me ha brindado y ser una segunda madre.
- Mi abuelo** Alejandro Leiva. Por el amor que me brindó y fungir como figura paterna terrenal.
- Mis hermanos** Daniel y Fernanda Leiva. Por permanecer a mi lado y apoyarme en todo momento.
- Mis tíos** Jorge y Sandra Leiva. Por ayudarme en todo momento.
- Mis primos** Por compartir tantos buenos momentos.
- Mis amigos** Porque gracias a cada uno de ustedes estos años de estudio han sido más fáciles y han contribuido a que pueda alcanzar esta meta.

Amigos de la Facultad

Porque con ustedes lleve de la mano cada paso de mi formación, siendo un pilar valioso de mi vida.

Compañeros de trabajo

Porque con ustedes aprendí lecciones enriquecedoras para aplicar en mi profesión.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios donde obtuve mi formación académica.
Facultad de Ingeniería	Por ser el centro de estudios donde recibí mi profesión.
Mis amigos de la Facultad	A cada uno de ustedes gracias por su amistad.
Argentina Leiva	Por ser el pilar más importante de mi vida.
Mi familia	Por brindarme siempre su apoyo.
Ing. Frisly Fuentes	Por asentar de nuevo mi vida en las manos de Dios.
Ing. Manuel Garnica	Por su colaboración en el presente trabajo.
Mis amigos	Por compartir tantos momentos en mi vida.
Compañeros de trabajo	Por compartir sus conocimientos conmigo.
Catedráticos	Por la educación brindada.

Amigos de la iglesia

Por compartir la bondad de Dios conmigo.

Ing. Rodolfo Rivas

Por su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES	1
1.1. Características geográficas que inciden en los tipos de losas	1
1.1.1. Clima	2
1.1.1.1. Temperatura	5
1.1.1.2. Humedad y precipitación	5
1.1.1.3. Vientos	6
1.1.1.4. Incidencia solar	7
1.2. Condiciones sísmicas	10
1.2.1. Terremotos	11
1.3. Tipos de losas	13
1.3.1. Según tipo de materiales utilizados	14
1.3.2. Según su constitución	18
1.3.3. Según puntos de apoyo	19
2. SISTEMAS DE LOSAS	23
2.1. Tipos de losas de acuerdo a la regionalización del país	23
2.1.1. Regiones y subregiones	24

	2.1.1.1.	Planicie del norte	24
	2.1.1.2.	Franja Transversal del Norte.....	25
	2.1.1.3.	Meseta y altiplanos	25
	2.1.1.4.	Bocacosta.....	25
	2.1.1.5.	Planicie costera del Pacífico	25
	2.1.1.6.	Zona oriental.....	26
	2.1.2.	Tipología de vivienda.....	29
	2.1.3.	Estructura de techos prevalectes	33
2.2.		Descripción de los diferentes sistemas de losas	35
	2.2.1.	Losa tradicional	35
	2.2.2.	Losa prefabricada.....	38
	2.2.3.	Losa de madera	40
	2.2.4.	Losa – acero.....	43
3.		FACTORES Y MATERIALES DE LOS DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS	47
	3.1.	Factores a considerar para el diseño de losas	47
	3.1.1.	Tipos de cargas que afectan el diseño de losas	47
	3.1.1.1.	Carga viva	47
	3.1.1.2.	Carga muerta.....	49
	3.2.	Materiales para la construcción de losas.....	49
	3.2.1.	Concreto.....	50
	3.2.1.1.	Características.....	50
	3.2.1.2.	Propiedades del concreto	52
	3.2.1.3.	Proceso de mezclado y colocación.....	53
	3.2.2.	Acero.....	56
	3.2.2.1.	Características.....	56
	3.2.2.2.	Propiedades del acero	56
	3.2.2.3.	Colocación.....	57

3.2.3.	Madera.....	59
3.2.3.1.	Características	59
3.2.3.2.	Propiedades de la madera	60
3.2.3.3.	Colocación	61
3.2.4.	Prefabricados.....	63
3.2.4.1.	Características	63
3.2.4.2.	Propiedades de los prefabricados	63
3.2.4.3.	Colocación	64
4.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS	67
4.1.	Diseño estructural de losas.....	67
4.1.1.	Diseño de una losa para ejemplificar el análisis de costos	67
4.1.1.1.	Diseño de losa tradicional	67
4.1.1.2.	Diseño de losa prefabricada.....	72
4.1.1.3.	Diseño de losa-acero	75
4.1.1.4.	Diseño de losa de madera.....	78
5.	ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS ANALIZADOS	83
5.1.	Análisis beneficio/costo sobre la losa ejemplificada	83
5.1.1.	Integración de costos	83
5.1.1.1.	Losa tradicional	84
5.1.1.2.	Losa prefabricada	86
5.1.1.3.	Losa – acero	87
5.1.1.4.	Losa de madera	88
5.2.	Comparación de ventajas y desventajas técnicas y económicas	90

5.2.1.	Determinación de parámetros de comparación	90
5.2.2.	Evaluación y determinación de factores técnico económicos de cada método constructivo analizado.....	95
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES		101
BIBLIOGRAFÍA.....		103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Posición geográfica de la República de Guatemala	2
2.	Regiones climáticas de Guatemala	4
3.	Condiciones generales sobre algunos tipos de techos.....	9
4.	Zonificación sísmica de Guatemala	12
5.	Armado de losa de concreto reforzado	15
6.	Losa de concreto sobre plancha de acero	16
7.	Sección de losa prefabricada	17
8.	Losa a base de elementos de madera	18
9.	Losa apoyada sobre vigas	19
10.	Losa en una dirección	20
11.	Losa en dos direcciones	20
12.	Losa apoyada sobre columnas	21
13.	Losa reticular apoyada sobre columnas	22
14.	Losa apoyada sobre el terreno.....	22
15.	Regionalización de la República de Guatemala según características geográficas	28
16.	Forma del techo o losa.....	31
17.	Estructura de losas preexistentes	34
18.	Losa tradicional.....	36
19.	Losa prefabricada	39
20.	Detalles de losa de madera	42
21.	Elementos de losa – acero.....	44
22.	Detalle de losa tradicional	72

23.	Sección típica de losa prefabricada	73
24.	Detalle de losa prefabricada	75
25.	Sobrecargas permisibles según calibre de losa-acero	76
26.	Máximos claros sin apuntalamiento en losa-acero	77
27.	Detalle de losa-acero.....	77
28.	Sección vigas de madera	82
29.	Comparación de costos de cada sistema constructivo analizado	96

TABLAS

I.	Principales características climáticas de Guatemala.....	7
II.	Conformación de regiones y subregiones	26
III.	Tipos de losas por regiones y subregiones	30
IV.	Cargas vivas en edificaciones para la República de Guatemala	48
V.	Iteración para determinar área de acero requerida	69
VI.	Valores de diseño según grado estructural de madera	79
VII.	Integración de costos de losa tradicional	85
VIII.	Integración de costos de losa prefabricada.....	86
IX.	Integración de costos de losa – acero.....	87
X.	Integración de costos de losa de madera	89
XI.	Integración de costos de acabados internos necesarios en losas tradicionales y prefabricadas	91
XII.	Integración de costos de acabados externos en losas tradicionales, prefabricadas y losa – acero.....	92
XIII.	Integración de costos de cielo falso necesario para losa – acero	93
XIV.	Integración de costos de acabados para madera	94
XV.	Análisis beneficio / costo de cada sistema constructivo analizado	95
XVI.	Análisis beneficio / costo incremental de cada sistema constructivo analizado	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
H	Altura total
S	Ancho tributario
As	Área de acero
Asmax	Área de acero máxima
Asmin	Área de acero mínima
At	Área tributaria
b	Base
Bw	Base del patín
W	Carga distribuida
CM	Carga muerta
CU	Carga última
CV	Carga viva
cm	Centímetro
pb	Cuantía de acero balanceada
Δ	Deflexión
Fc	Esfuerzo de corte de la madera
fy	Esfuerzo a la fluencia del acero
Fb	Esfuerzo de flexión de la madera
°C	Grados Celsius
gr	Gramo
gr/cm³	Gramo por centímetro elevado al cubo
kg	Kilogramo

kg/cm²	Kilogramo por centímetro elevado al cuadrado
kg/m²	Kilogramo por metro elevado al cuadrado
km	Kilómetro
km²	Kilómetro elevado al cuadrado
km/h	Kilómetro por hora
lb	Libra
lb/pulg²	Libra por pulgada elevada al cuadrado
L	Longitud
MPa	Mega pascal
m	Metro
mm	Milímetro
M(-)	Momento negativo
M(+)	Momento positivo
MU	Momento último
P	Peralte
Wt	Peso lineal
pulg	Pulgada
Q	Quetzal
f'c	Resistencia a la compresión del concreto
Vol	Volumen

GLOSARIO

Aglomerante	Son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos.
Aligerante	Material de construcción utilizado para sustituir el concreto como volumen total de una losa.
Amasado	Técnica utilizada para dosificar la mezcla de los materiales para concreto.
Canto	Llamado también borde. Esquina o extremo de un objeto.
Cimbra	La cimbra es una estructura auxiliar que sirve para sostener provisionalmente el peso de obras como losas, durante la fase de construcción.
Confort	Todo aquel estado que produce bienestar y comodidades.
Consolidación	Proceso de reducción de volumen provocado por la acción de cargas sobre su masa.
Cuantía	Número de unidades, tamaño o proporción de una cosa, especialmente cuando es indeterminado.

Curado	Consiste es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
Diafragma	Pieza estructural rígida que puede soportar el esfuerzo cortante al estar cargado en una dirección paralela a un plano.
Ductilidad	Es una propiedad que presentan algunos materiales, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse.
Embozado	Consiste en la acción de cubrir algún elemento.
Embutida	Se denomina embutida a una pieza estructural, introducida en otro elemento para cumplir determinadas funciones.
Extrusión	Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija.
Fraguado	Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto.
Hidratación	Es el proceso cuando el agua de mezcla entra en contacto con los granos de cemento, y los principales compuestos reaccionan colaborando en la resistencia del concreto.

Hormigón	Conocido principalmente como concreto, es un material compuesto formado esencialmente por un aglomerante, partículas de agregados, agua y aditivos especiales.
Joist	Es un miembro estructural horizontal que atraviesa muro a muro, muro a viga o viga a viga para dar soporte a losas y/o entrepisos.
Losa	Es el elemento estructural encargado generalmente de recibir de forma directa las cargas de funcionamiento de una edificación.
Rastreles	Estructura elaborada de madera que se coloca bajo entrepisos cuando estos poseen desniveles.
Testerros	Tapas o tablas que dan forma a la viga.

RESUMEN

Cuando un ingeniero civil es contratado, el cliente no busca únicamente un diseño estructural de parte de este; espera que el ingeniero civil sea capaz de ejecutar el proyecto aplicando cada parámetro de diseño y a la vez sea capaz de determinar entre cada una de las posibles opciones que se adaptarían al proyecto, la más funcional, rápida, eficaz, eficiente, sobre todo económica, o bien, la opción que reúna cada una de estas características.

Cada elemento estructural ha ido sufriendo modificaciones con el paso de los años por cada avance científico que el humano logra. Una losa, cuya función es soportar las cargas vivas como muertas de una edificación o ambiente y transmitir estas hacia las columnas, que son también parte de estas modificaciones, por lo que en la actualidad es muy fácil encontrar una diversidad de opciones para su elaboración.

El trabajo del ingeniero civil, es entonces, saber reconocer que opción es la más factible para cada proyecto. Es por esto que en el presente trabajo se escogieron cuatro sistemas de losas para ejemplificar esta situación. Losas de madera, acero, prefabricadas y losas tradicionales. Se presentan las características y propiedades que posee cada losa, para lograr determinar a través de un diseño estructural adecuado los materiales que cada una requiere y proceder a realizar un análisis beneficio/costo entre cada sistema, para determinar la mejor opción, siendo en este caso la losa-acero, resultado obtenido a través de la combinación de sus características y costo.

OBJETIVOS

General

Determinar a través de un análisis beneficio/costo la opción más factible entre los sistemas constructivos de losas de madera, acero, prefabricadas y losas tradicionales.

Específicos

1. Determinar la influencia de los factores climáticos para una correcta elección de losa.
2. Compilar las opciones de losas para vivienda en Guatemala para determinar que sistemas se utilizan mayoritariamente.
3. Dar a conocer la opción más rápida y más lenta para su ejecución entre los sistemas constructivos de losas en estudio.
4. Evidenciar que sistema constructivo de losa a través de sus costos proporciona la mejor relación beneficio/costo.
5. Demostrar a través de una comparación entre cada sistema constructivo de losa cual representa una mejor relación beneficio/costo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es fácil encontrar varios sistemas constructivos de losas, el problema es determinar qué sistema es el mejor para cada tipo de obra. Para encontrar la solución a esta interrogante, es común que el encargado de la construcción opte por la opción más común, o bien, que el propietario requiera la opción económica.

Decidir ejecutar la opción más económica no soluciona inmediatamente el problema, lo importante es determinar cuál es esta opción. Se debe resaltar que al momento de escoger un sistema constructivo, basados únicamente en su bajo costo, se olvida conocer el buen funcionamiento de los elementos que lo conformarán. Guatemala es un país en vías de desarrollo, situación que demuestra que la economía de sus habitantes no permite la construcción de sistemas de losas adecuadas para sus viviendas y que puedan cumplir su función primordial, resistir las fuerzas gravitacionales que actúen sobre esta y proteger a la familia de los elementos climáticos a los que pueden estar sometidos.

Con la suma de estos inconvenientes es que se determinó realizar el trabajo de graduación, en el cual se presentan lineamientos esenciales a tomar en cuenta para la elección de un sistema constructivo de losas, el que no debe basarse únicamente en su economía, sino que debe realizarse un estudio de las características que ofrecen sus elementos estructurales, su trabajabilidad, durabilidad y funcionabilidad.

Para llegar a establecer que sistema constructivo es el que relaciona estas características se realizó un análisis beneficio/costo entre cuatro tipos de losas. Estas son losas de madera, acero, prefabricadas y losas tradicionales.

Para realizar este análisis se tomaron en cuenta características que influyen en la selección del tipo de losa, claro ejemplo de esto son los elementos geográficos y climáticos de cada región. En el primer capítulo se encuentra la influencia que cada factor climático, como la velocidad del viento, intensidad de lluvia, incidencia solar, ejerce sobre una losa y como esto lleva a elegir el tipo de material que conformará los elementos estructurales del techo y la forma que este tendrá para resistir cada uno de los factores.

En el segundo capítulo se presentan los tipos de techos comúnmente edificados en cada región de la república, los cuales son claramente influenciados por la economía de cada una de estas regiones, yendo desde los más sencillos en losa plana, hasta losas combinadas.

En una correcta selección de sistema constructivo de losa debe analizarse las características que poseen los elementos estructurales que conformarán esta, por lo que en el tercer capítulo se extienden las características y propiedades que los materiales proporcionan, a fin de conocer que acabados debe recibir cada material para evitar fallas o una obsolescencia temprana y la trabajabilidad que poseen, así como el procedimiento para su correcta colocación o instalación, para ejecutar adecuadamente la construcción de la losa y lograr una funcionalidad eficiente.

Para determinar el costo de cada losa, se debe conocer que materiales la conformarán, por lo que en el cuarto capítulo se realiza el diseño estructural de los cuatro sistemas de losas analizados, llegando a obtener qué tipo de material se necesita para cada uno y la cantidad de los mismos, basados en un mismo ambiente para poder comparar adecuadamente los sistemas de losas.

El análisis beneficio/costo se detalla en el quinto capítulo, donde se ve el costo que requiere cada uno de los cuatro sistemas de losas con base a su estructura y costo necesario para aplicarle los acabados finales y lograr estética en su construcción. Con esta base es que se analiza el porcentaje obtenido entre el beneficio y costo de cada sistema individualmente para determinar el mejor de estos. También se podrá observar un análisis beneficio/costo incremental donde se compararán los sistemas entre ellos, para confirmar el análisis individual.

A partir de estos datos presentados es que se desea realizar una selección adecuada del tipo de losa a ejecutar, no sólo por el costo de construcción estructural, sino también tomar en cuenta características importantes como el costo de los acabados que necesita para lograr su estética y protección, el tiempo de ejecución y las características que cada uno brinda y como se adapta a las condiciones climáticas y sísmicas de la región.

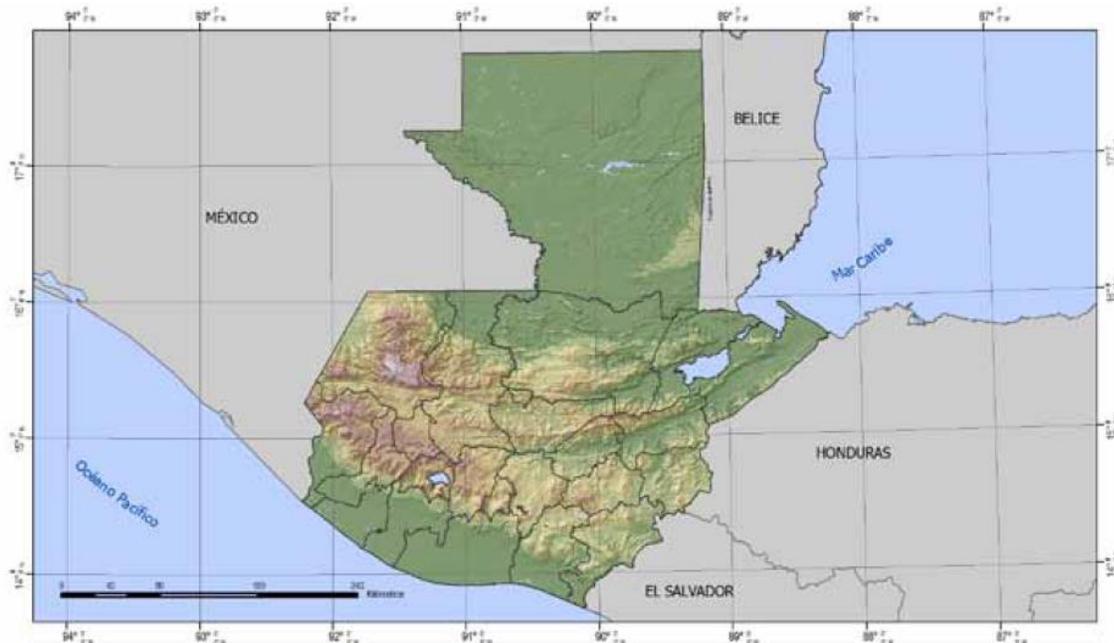
1. GENERALIDADES

1.1. Características geográficas que inciden en los tipos de losas

Es importante señalar que en Guatemala, país con capacidad técnica limitada – principalmente en el interior de la república – se han construido viviendas sobre la base de experiencias y observaciones continuas sin considerar estudios sistemáticos. No obstante lo anterior, cada individuo busca obtener una vivienda cómoda y segura contra los fenómenos de la naturaleza para lograr el bienestar tanto de él como de su familia.

Guatemala se encuentra ubicada en América Central, limita al oeste y al norte con México, al este con Belice y el golfo de Honduras, al sur con El Salvador, y al sureste con el océano Pacífico, como es posible observar en la figura 1. El país posee una superficie de 108 889 kilómetros cuadrados. A pesar de su relativamente pequeña extensión territorial, cuenta con variedad climática, producto de su relieve montañoso que va desde el nivel del mar hasta los 4 220 metros sobre ese nivel.

Figura 1. **Posición geográfica de la República de Guatemala**



Fuente: Informe Ambiental del Estado de Guatemala GEO Guatemala 2009. p. 40.

1.1.1. **Clima**

Existe gran diversidad de climas en Guatemala. Las áreas varían en su clima, elevación y paisaje, por lo cual hay contrastes dramáticos entre las zonas bajas con un clima tropical, cálido y húmedo, y las regiones altas, picos y valles. En la figura 2 se puede observar los diferentes tipos de clima del país.

El clima afecta diferentes propiedades de los materiales que conforman las losas. Un ejemplo claro de esto es como el clima afecta el proceso de curado del concreto.

Debido a que se ha comprobado que las reacciones de hidratación del cemento sólo se dan en un ambiente interno de saturación, los investigadores de la tecnología del concreto han recomendado, desde hace aproximadamente un siglo, realizar acciones de curado en los elementos de concreto – principalmente suministrando humedad– como una parte esencial de los procedimientos constructivos tendientes a obtener un material con el mejor desempeño posible; y tratando, también, de alcanzar el mayor beneficio del alto costo del cemento.

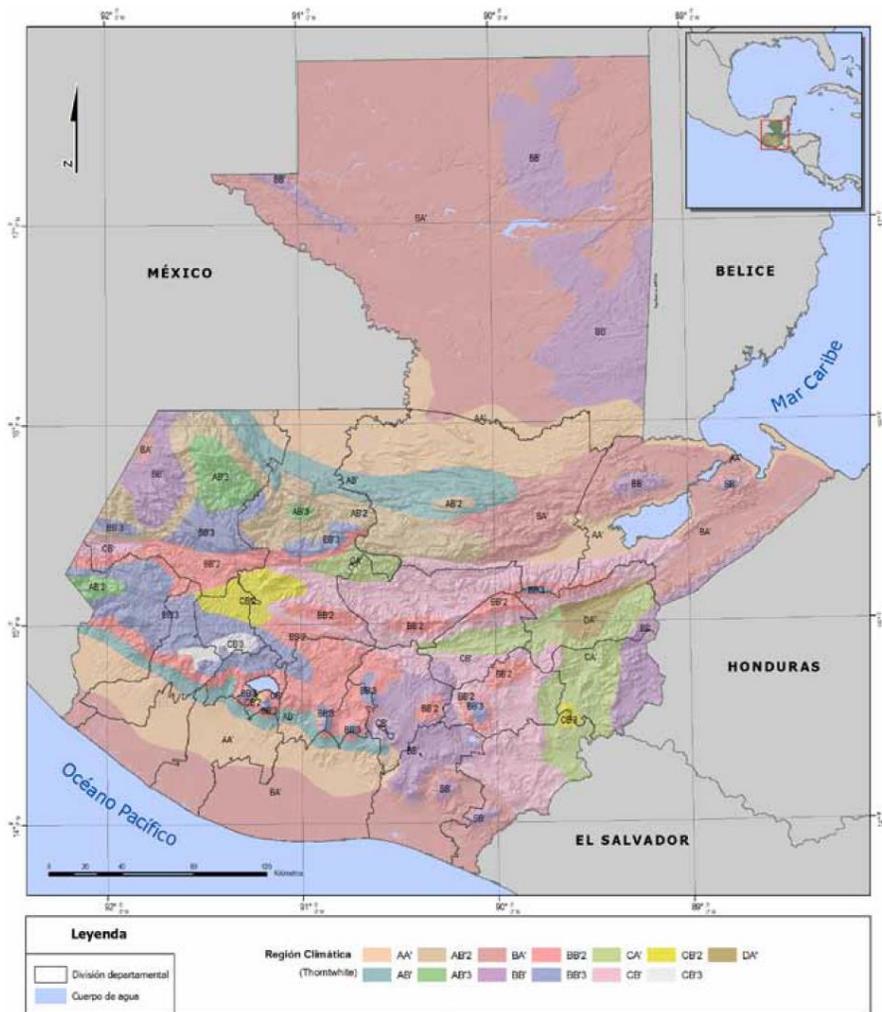
El término curado se utiliza tanto para describir el proceso natural por medio del cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido.

En el primer sentido, el tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna; en el segundo sentido, se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc.

En forma general el ACI (American Concrete Institute) distingue dos tipos diferentes de climas extremos que pueden provocar problemas durante el mezclado, transporte y colocación del concreto: el clima frío y el cálido. En el primer caso, la principal preocupación es que los compuestos del cemento no reaccionen con el agua, o que lo hagan a una tasa muy lenta, o que incluso, esta se congele. En el segundo caso, la principal preocupación es que el agua del concreto se evapore rápidamente y que una parte significativa del cemento no se hidrate, por lo tanto no aporte resistencia al material y éste sea muy poroso.

Con esto se puede observar como el clima tiene una acción directa en el comportamiento de los materiales que constituyen los diferentes tipos de losas. A continuación se enuncian las características que poseen los elementos climáticos que afectan directamente a las losas, ya que estas constituyen la parte de la vivienda que esta durante un lapso de tiempo mayor, expuesta a los fenómenos de la naturaleza.

Figura 2. **Regiones climáticas de Guatemala**



Fuente: Informe Ambiental del Estado de Guatemala GEO Guatemala 2009. p. 43.

1.1.1.1. Temperatura

La temperatura es el estado atmosférico del aire desde el punto de vista de su acción sobre los cuerpos. En el aspecto de vivienda, la temperatura es el calor existente en una edificación e incide en el *confort* de la misma y es causada por la fricción de moléculas de aire.

Dentro del territorio nacional las temperaturas son variadas a causa de los accidentes geográficos, principalmente por la altura de los sistemas montañosos que van desde el nivel del mar hasta aproximadamente 4 200 metros sobre el nivel del mar. Por otra parte, estudios realizados han determinado el gradiente térmico medio para el país, cuyo valor es de 176 metros por cada grado centígrado.

1.1.1.2. Humedad y precipitación

Guatemala cuenta con una precipitación pluvial que varía de una zona a otra desde los 400 hasta aproximadamente 4 000 mm anuales. Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el mar Caribe y en el océano Pacífico; y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es abundante en las laderas de las montañas expuestas al tránsito de tales vientos.

Como consecuencia, de acuerdo a los balances de agua medios anuales, el país cuenta con una cantidad significativa de agua que supera las necesidades. La disponibilidad anual de agua se calcula en 97 120 millones de metros cúbicos, lo que equivale, a una disponibilidad media de más de 20 metros cúbicos por día y por habitante.

Como consecuencia de lo anterior, se tiene que las pendientes de los techos así como los traslapes de la cubierta y tipo de material, deben estar en función de la precipitación y la humedad que presenta una localidad en particular.

1.1.1.3. Vientos

Según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) respecto a los vientos, se tiene que la intensidad máxima de los vientos normalmente puede llegar a sobrepasar los 75 kilómetros por hora y que en los llanos de La Fragua, Zacapa, los períodos de calma son sensiblemente notorios, con índices de humedad relativa que raras veces llega al 50 %. En cambio en la planicie de Chimaltenango prevalecen durante todo el año vientos de 40 a 50 kilómetros por hora.

Cuando la velocidad del viento es mayor a quince metros por segundo (54 km/h) representa peligro para los peatones y las estructuras. La ubicación de las construcciones y su forma pueden crear fenómenos del viento que pueden ocasionar falta de *confort* e incluso peligro para los usuarios.

Debido a la anterior descripción, es necesario verificar la incidencia de los vientos en los techos, así como al interior de la vivienda, ya que el viento además de su intensidad puede llevar consigo humedad, lo cual implica que el material de construcción de las losas deberá tener la capacidad de proveer una eficiente transmisión térmica, para lograr el bienestar deseado dentro de la habitación.

1.1.1.4. Incidencia solar

Existen criterios arquitectónicos que aconsejan tomar en cuenta la posición de la edificación con el objeto de aprovechar la orientación y el recorrido del Sol, evitando con ello, el descontrolado aumento, o bien, la disminución del calor en el interior de la vivienda. En Guatemala generalmente no se hace un estudio solar previo del terreno y su entorno para ser aprovechado en el diseño de las edificaciones. Según sea la pendiente de los techos así será la absorción de calor por radiación.

En la tabla I se enuncian las principales características climáticas del país. En la figura 3 se ejemplifica como la forma del techo va relacionada por la radiación solar.

Tabla I. Principales características climáticas de Guatemala

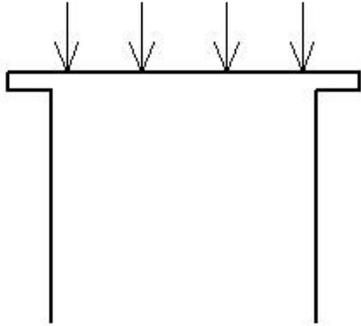
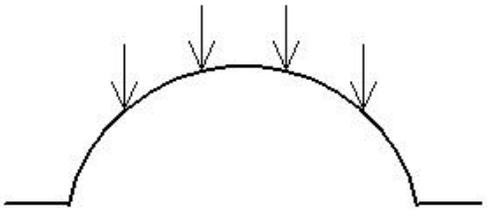
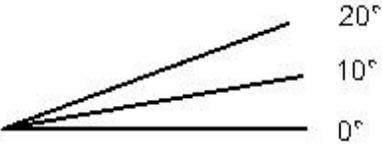
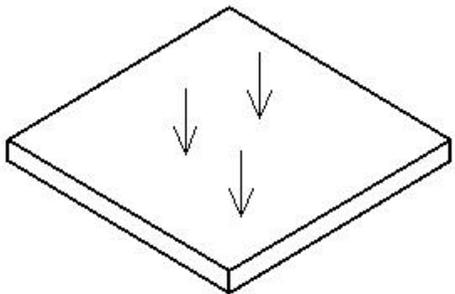
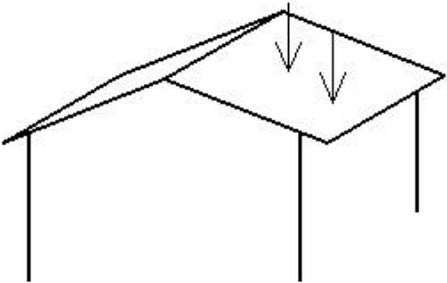
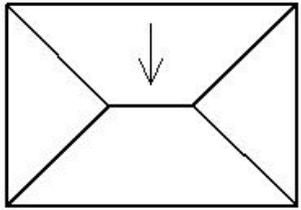
Enero	Temperatura: Segundo mes más frío. Oscilaciones diurnas de temperatura.
	Vientos: con fuerte intensidad.
	Precipitación: principios de mes con lloviznas ligeras.
	Humedad: estable con condiciones normales
Febrero	Temperatura: mes más frío del año. Temperaturas bajas.
	Vientos: aumenta su intensidad.
	Precipitación: escasez de lluvia.
	Humedad: pocas fluctuaciones. Mes seco
Marzo	Temperatura: elevada.
	Vientos: se incrementa su velocidad.
	Precipitación: escasez de lluvia.
	Humedad: con valores mínimos. Neblinas y brumas al amanecer.
Abril	Temperatura: elevada.
	Vientos: variables con intensidad moderada.
	Precipitación: fuertes aguaceros.
	Humedad: estable al inicio de mes y con ascenso a finales.

Continuación de la tabla I.

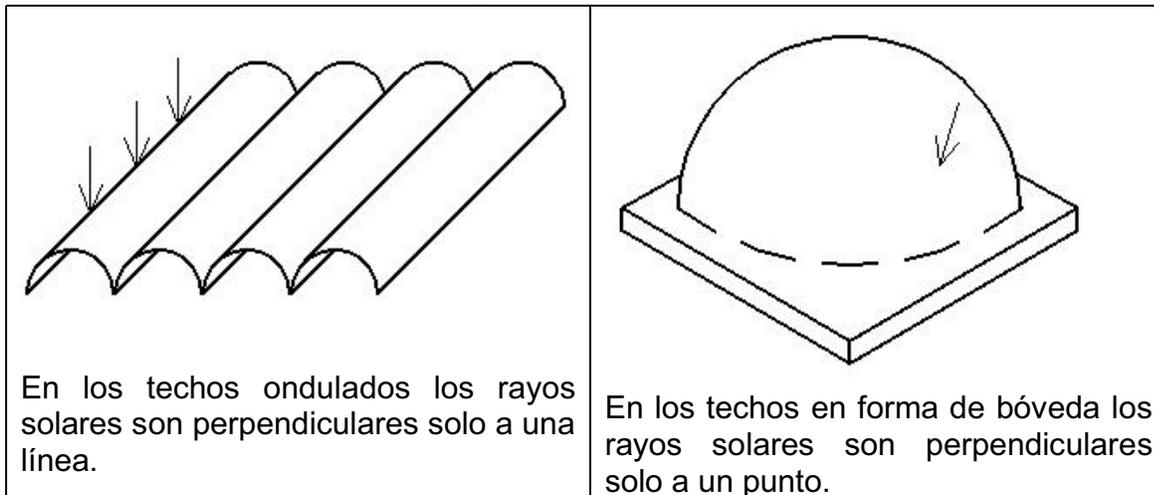
Mayo	Temperatura: mes clásico de la primavera. Variación de temperatura.
	Vientos: variables con intensidad moderada.
	Precipitación: se inician las lluvias y desaparecen las brumas.
	Humedad: alta en regiones altas.
Junio	Temperatura: descenso de la temperatura.
	Vientos: variables con intensidad moderada.
	Precipitación: Inicio de tormentas tropicales.
	Humedad: elevación relativa del aire. Calor húmedo.
Julio	Temperatura: poca representación de la variación del verano.
	Vientos: variables con intensidad moderada.
	Precipitación: descenso de lluvias fuertes poco duraderas.
	Humedad: descenso de humedad.
Agosto	Temperatura: estable.
	Vientos: de poca intensidad.
	Precipitación: aumentan las lluvias de larga duración y poca intensidad.
	Humedad: relativa. Alto porcentaje de la tensión de vapor de agua.
Septiembre	Temperatura: sin variación.
	Vientos: de poca intensidad.
	Precipitación: lluvias con características de temporal con fuerte intensidad.
	Humedad: alta.
Octubre	Temperatura: estable.
	Vientos: débiles (de poca intensidad).
	Precipitación: lloviznas con tendencia a aflojar tormentas tropicales.
	Humedad: alta con tendencia a descenso.
Noviembre	Temperatura: estable.
	Vientos: fuertes y fríos en algunas regiones.
	Precipitación: escasa (lluvia más aire frío). Días diáfanos.
	Humedad: alta.
Diciembre	Temperatura: con descensos.
	Vientos: fuertes.
	Precipitación: lloviznas ligera y fría.
	Humedad: descenso de humedad.

Fuente: PUAC, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p. 8.

Figura 3. **Condiciones generales sobre algunos tipos de techos**

 <p>En los techos planos es mayor la absorción del calor por radiación solar.</p>	 <p>En los techos curvos es menor el calor por conducción debido a que la radiación solar es perpendicular a la bóveda en un solo punto.</p>
 <p>Cada 10 grados de inclinación del plano representa del 10 al 15% de menor calor por radiación.</p>	 <p>En el techo plano los rayos solares son perpendiculares a toda la superficie.</p>
 <p>En el techo de dos aguas puede serlo solo a la mitad.</p>	 <p>En el techo a cuatro aguas, los rayos son únicamente a la cuarta parte.</p>

Continuación de la figura 3.



Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p.

12.

1.2. Condiciones sísmicas

El territorio de Guatemala está situado sobre tres placas tectónicas, o partes de ellas: el bloque Maya de la placa de América del Norte, el Bloque Chortís de la placa del Caribe y la parte norte de la placa del Coco o de Cocos; las dos primeras son continentales y la tercera oceánica. La placa de Cocos colisiona con la placa de América del Norte, desplazándose por debajo de esta, provocando el fenómeno denominado subducción, lo que provoca actividad volcánica en la planicie costera del océano Pacífico. Por su parte, las placas del Caribe y de Norteamérica colisionan, formando cadenas montañosas en el área de la Sierra de las Minas, tomando como punto de partida la falla del río Motagua en el valle del mismo nombre.

Estas placas se encuentran en constante movimiento y contacto entre ellas, siendo los tres tipos de contacto: subducción, divergencia y transformación o fricción, movimientos que inducen los terremotos.

1.2.1. Terremotos

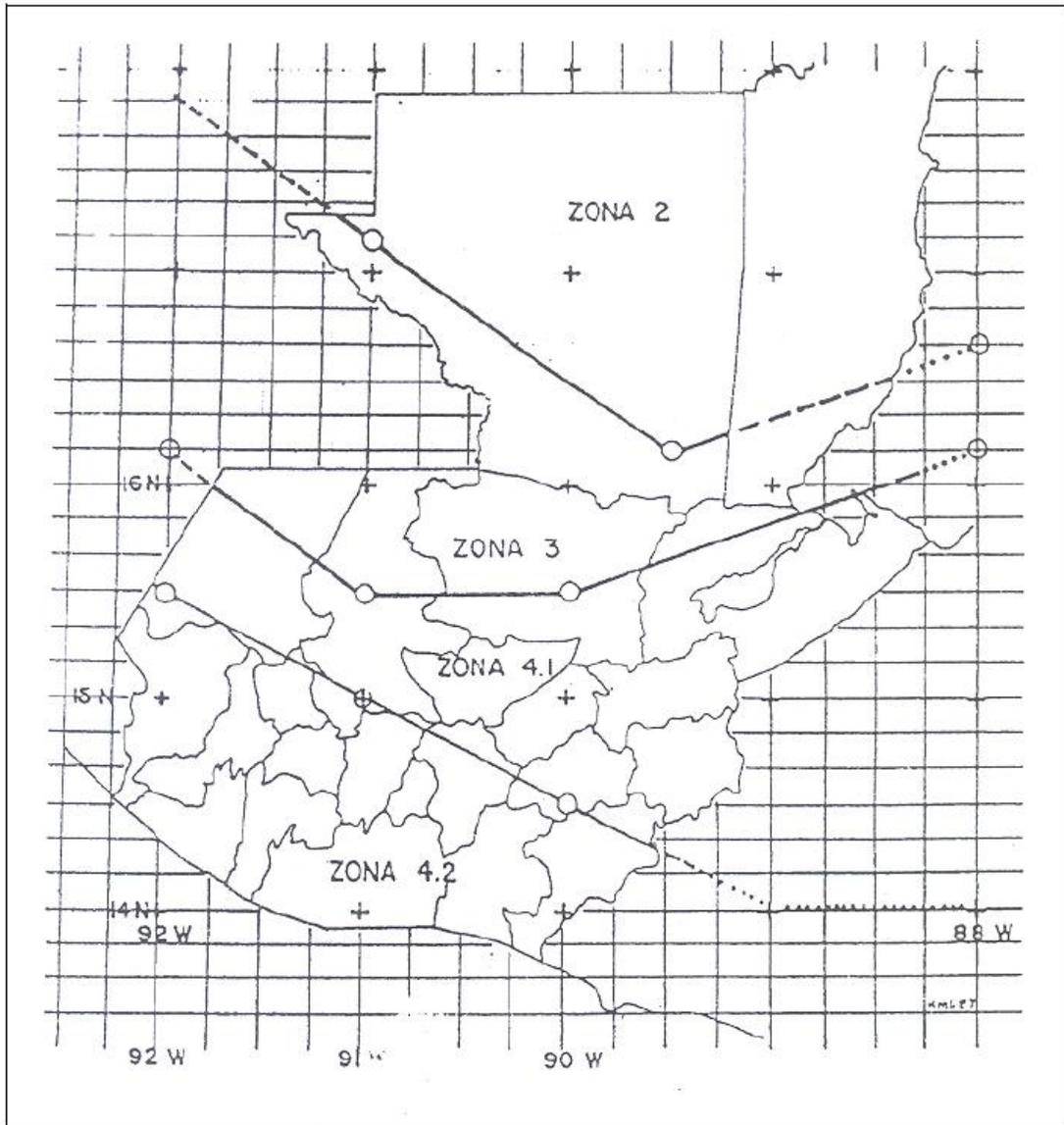
Entre la causa de los terremotos se encuentra liberación de energía de la corteza terrestre acumulada a consecuencia de actividades volcánicas y tectónicas, que se originan principalmente en los bordes de la placa.

Guatemala es uno de los países más volcánicos del mundo, así como uno de los más sísmicos del mundo al encontrarse sobre las tres placas tectónicas ya mencionadas. Debido a sus múltiples plegamientos orográficos, está sometida a constantes sismos y erupciones volcánicas.

Es importante hacer mención que Guatemala está atravesada por dos grandes sistemas de fallas: la falla del Motagua y la falla del Polochic donde lindan entre sí la placa del Caribe y la placa Norteamericana produciendo continuamente destructores terremotos, como el terremoto de 1976, con una escala de intensidad de 7,6° en la escala de Richter. En la figura 4 se puede observar la zonificación sísmica de la república.

En otro orden de ideas, cabe destacar que el daño que causa un terremoto en una vivienda depende de dos aspectos que son la altura y el peso, tanto de la estructura como del techo.

Figura 4. Zonificación sísmica de Guatemala



Fuente: SANTANA, Guillermo. Evaluación de código sísmico. p. 2.

En síntesis se puede decir que las características geográficas que inciden en la construcción de losas son:

- Para el bienestar de los habitantes: la radicación solar, la temperatura y el cambio de la misma, la humedad y el movimiento del aire.
- Riesgo sísmico: dado a que Guatemala se asienta en una zona propensa a terremotos, la posibilidad de que ocurra un movimiento sísmico debe ser tomada en cuenta para la selección del tipo de estructura y losa.
- Transmisión térmica: también la transmisión térmica de los materiales de una losa hacia el interior, debe satisfacer las necesidades de habitabilidad y bienestar humano, requeridas para un ambiente.

1.3. Tipos de losas

Las losas son los elementos estructurales encargados generalmente de recibir de forma directa las cargas de funcionamiento de una edificación, es decir, estas soportan el peso de las personas, objetos, materiales, maquinarias, etc., que estarán dando uso a la misma, y así transmitirlo a los demás elementos estructurales que llevarán las cargas hasta la cimentación, para ser transmitidas finalmente al suelo de fundación.

Generalmente son considerados elementos bidimensionales debido a que tienen una dimensión mucho más pequeña que las otras dos. El ancho y el largo, forman un plano perpendicular al espesor de dimensión mucho menor.

Las cargas que actúan sobre las losas son esencialmente perpendiculares a su plano principal, es por ello que su comportamiento está dominado por el efecto de flexión de dicho plano. Cumplen un papel muy importante en el desempeño antisísmico de la estructura, ya que se deben comportar como un diafragma rígido que no sufre deformaciones en las direcciones paralelas a su plano principal y une a los demás elementos en su mismo nivel.

Durante el proceso constructivo son el último elemento a ser construido por nivel, y la manera como se lleve a cabo su elaboración puede ser determinante en su posterior desempeño, razón por la que se debe ser cuidadoso en éste aspecto.

La variedad de soluciones estructurales que pueden darse a un sistema de losa es tan grande debido a que cada día es mayor el número de innovaciones que se presentan, ligadas sobre todo a tecnologías de construcción que tratan de hacer más rápida y sencilla la fabricación. A continuación se presentan distintas clasificaciones que se pueden encontrar para losas:

1.3.1. Según tipo de materiales utilizados

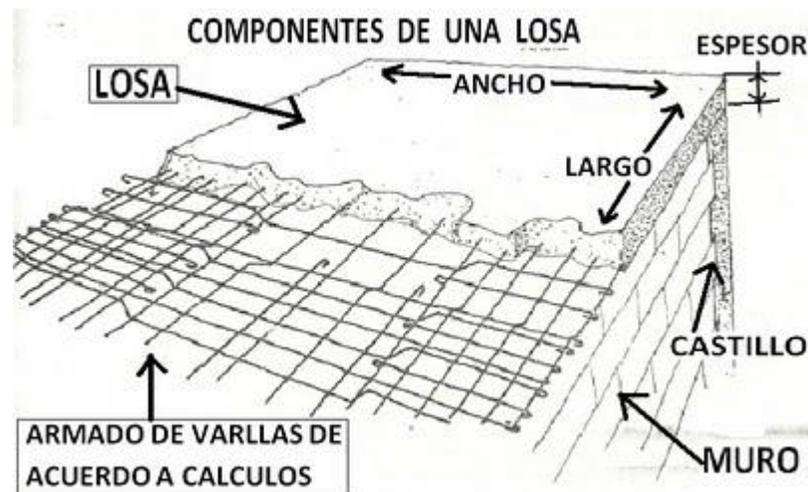
En la construcción de edificaciones se utilizan actualmente una gran variedad de materiales y métodos constructivos, con los que se ha tratado de innovar y mejorar las técnicas tradicionales fundamentalmente con el objetivo de acelerar los tiempos de obra, minimizar el desperdicio de materiales y en consecuencia optimizar el manejo de los recursos económicos destinados para la construcción.

Las losas no escapan de esta realidad, y para ello se han diseñado distintos tipos de losas que cubren necesidades propias de cada proyecto. A continuación se presentan algunas losas según el tipo de materiales utilizados.

Losas de concreto reforzado: están construidas de concreto que es una mezcla de arena, cemento, piedra triturada y agua en dosificación técnicamente calculada por un profesional, según la resistencia que se requiera para el elemento a construirse, además contiene varillas de acero, cuya área total se

denomina cuantía. La cuantía de acero requerida para el elemento estructural correspondiente es calculada técnicamente según el caso. En la figura 5 se aprecia un detalle típico de una losa de concreto reforzado.

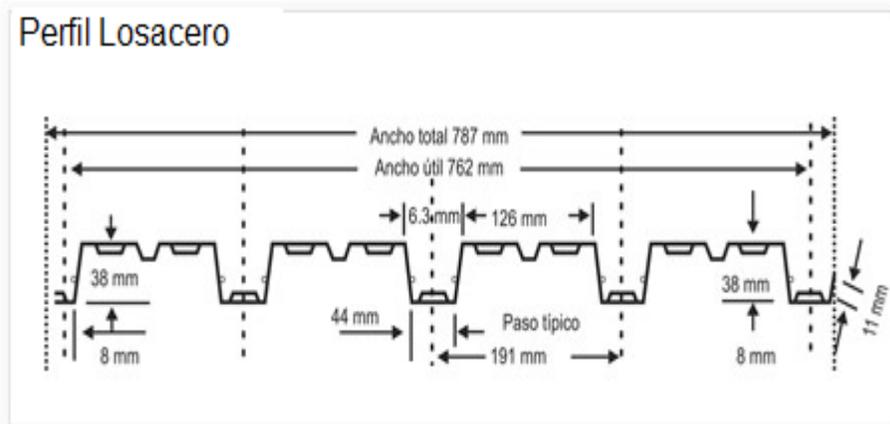
Figura 5. **Armado de losa de concreto reforzado**



Fuente: CRUZ MOTA, Josabeth. arquitecturaummjosabeth.blogspot.com. Consulta: 07 de mayo de 2013.

Losas de concreto sobre plancha de acero: otro tipo de sistema de losa ampliamente utilizado en la construcción está constituido por losas de concreto apoyadas en láminas corrugadas de acero, las cuales funcionan como autoencofrantes, y el acanalado de las láminas funciona como una especie de nervio. Originalmente este sistema nace para ser utilizado en estructuras de acero pero debido a su versatilidad se ha instalado con éxito en estructuras de otros materiales. En la figura 6 es posible observar un detalle de un perfil de acero, sobre el cual se funde la losa de concreto.

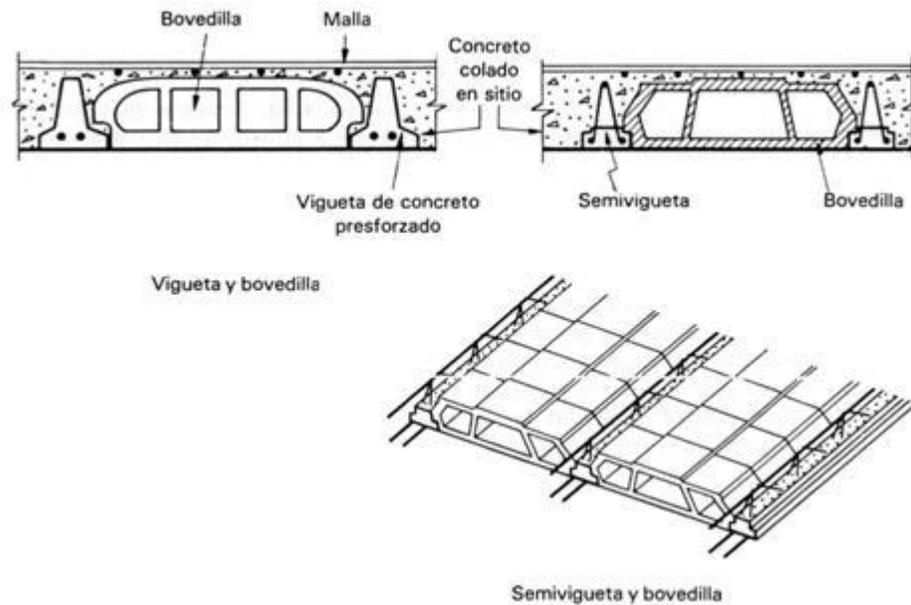
Figura 6. **Losas de concreto sobre plancha de acero**



Fuente: www.lamigal.com/losacero/laminas-losacero-acero-galvanizado.html. Consulta: 07 de mayo de 2013.

Losas a través de elementos prefabricados: estas losas prefabricadas son construidas en plantas especializadas con controles de calidad rigurosos, de secciones transversales diferentes según la exigencia del proyecto. Posteriormente a la colocación se vaciará una loseta de concreto armado para garantizar la continuidad estructural y el buen comportamiento ante las cargas actuantes. En la figura 7 se aprecia en detalle una sección de losa prefabricada.

Figura 7. Sección de losa prefabricada



Fuente: www.civil.cicloides.com/losas/3.2.4/. Consulta: 07 de mayo de 2013.

Losas a través de elementos de madera: esta surge de la fabricación de elementos netamente de madera, donde esta losa de madera es la unión de tablas a través de sus cantos, caras y extremos, con su fibra en la misma dirección, conformando un elemento no limitado en ancho ni el largo, y que funciona como una sola unidad estructural. En la figura 8 se aprecia un artesonado de madera, elemento a base de madera.

Figura 8. **Losa a base de elementos de madera**



Fuente: ARANA ARCHILA, Nestor Iván. Techos de madera proceso de ejecución constructiva de artesones, terraza española y pérgola. p. 93.

1.3.2. Según su constitución

Cuando se habla de la constitución de losas, se puede clasificarlas en:

Losas macizas: cuando el concreto es el material que ocupa todo el espesor de la losa, se le denomina a esta losa densa o maciza. No utilizan ningún tipo de aligerante. Se usan con espesores hasta de 15 cm.

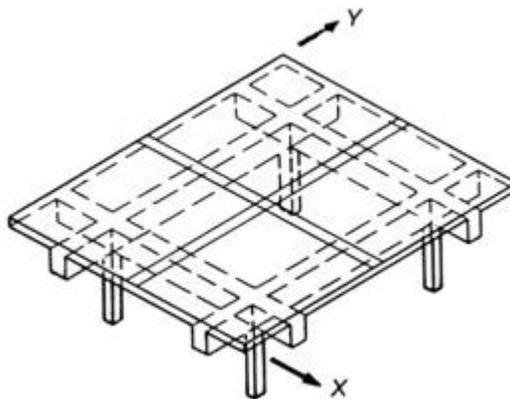
Losas aligeradas: son aquellas que forman vacíos en un patrón rectilíneo, los cuales aligeran la carga muerta debido al peso propio. En el caso de las losas aligeradas, el concreto no ocupa todo el espesor de la losa y esto es creado por elementos como lo son la bovedilla de material pómez o elementos de poliuretano.

Losas compuestas: es la combinación de un material como lo es el acero o la madera con el concreto. Una de estas combinaciones nos da un elemento estructural denominado sistema mixto, entre los cuales se encuentra el sistema de losa-acero.

1.3.3. Según puntos de apoyo

Losas apoyadas sobre vigas: las losas pueden estar soportadas perimetral e interiormente por vigas de concreto armado. Es importante señalar que las losas pueden estar apoyadas por vigas en dos de sus lados opuestos, o bien, sobre cuatro vigas en su borde, como ilustra la figura 9.

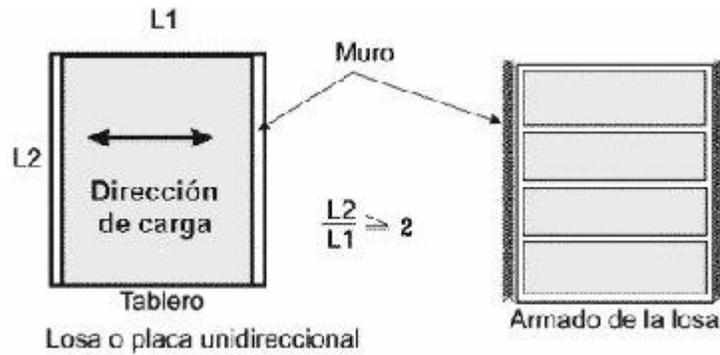
Figura 9. **Losa apoyada sobre vigas**



Fuente: www.civil.cicloides.com/losas/3.2.1/. Consulta: 07 de mayo de 2013.

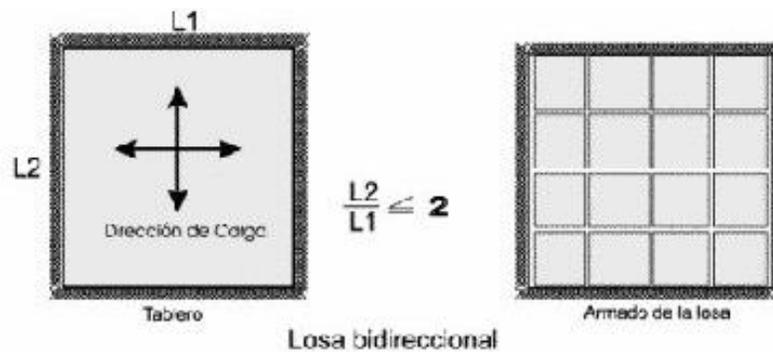
Losas apoyadas sobre muros: las losas pueden estar soportadas por muros de concreto armado, de mampostería o de algún otro material, ya sea sobre muros en dos de sus lados opuestos o sobre cuatro muros en sus bordes. En las figuras 10 y 11 se aprecia una losa apoyada sobre muros.

Figura 10. **Losa en una dirección**



Fuente: Código ACI sección 318. p. 94.

Figura 11. **Losa en dos direcciones**

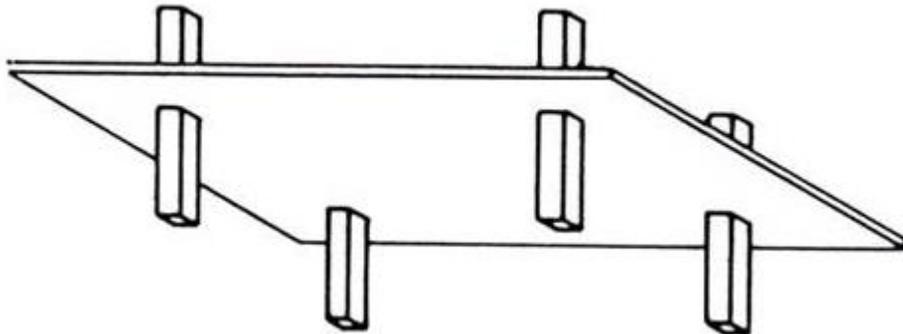


Fuente: Código ACI sección 318. p. 96.

Losas apoyadas sobre columnas: las losas también pueden apoyarse directamente sobre las columnas recibiendo el nombre de losas planas, sin embargo este tipo de losa ha demostrado un comportamiento inadecuado en zonas de alto riesgo sísmico como las que se tiene en el país debido a que no tienen capacidad suficiente para incursionar en el rango inelástico lo que les resta considerablemente la ductilidad, propiedad indispensable de una

estructura sismo resistente. Como ejemplo de este tipo de losas tenemos la figura 12.

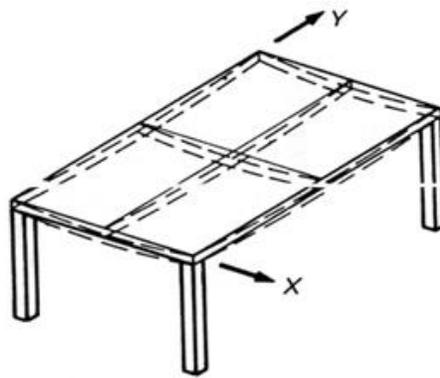
Figura 12. **Losa apoyada sobre columnas**



Fuente: www.civil.cicloides.com/losas/3.2.1/. Consulta: 07 de mayo de 2013.

Losa reticular apoyada sobre columnas: en edificios de poca altura, no mayor a cuatro pisos, con luces cortas y cargas pequeñas y medianas, se puede mejorar relativamente el comportamiento ante sismos de las losas planas incorporando vigas de banda con ductilidad adecuada embutidas en las mismas. Estas reciben el nombre de losas planas reticuladas. Un ejemplo se presenta en la figura 13.

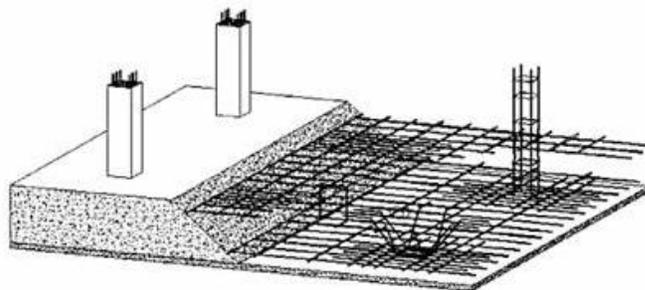
Figura 13. **Losa reticular apoyada sobre columnas**



Fuente: www.civil.cicloid.es.com/losas/3.2.1/. Consulta: 07 de mayo de 2013.

Losas apoyadas sobre el terreno: estas losas están apoyadas directamente sobre el terreno como en el caso de calles, carreteras, aeropuertos, galpones, etc., en las que se debe proporcionar un colchón de piedra picada para asegurar un apoyo uniforme sobre el terreno. Se representa esta en la figura 14.

Figura 14. **Losa apoyada sobre el terreno**



Fuente: www.civil.cicloid.es.com/losas/3.2.1/. Consulta: 07 de mayo de 2013.

2. SISTEMAS DE LOSAS

2.1. Tipos de losas de acuerdo a la regionalización del país

Como punto previo se considera conveniente esclarecer el significado de lo que representa en sí, la regionalización del país. La región comprende el lugar geográfico, o sea la porción de tierra y los hombres que lo habitan, con características físicas y humanas similares, produciendo relaciones ambientales, una de cuyas consecuencias lo constituye el grupo de soluciones de vivienda que en ella se dan.

Tomando en cuenta la anterior definición y aplicando una metodología adecuada, se ha llegado a la regionalización de la República de Guatemala, en cuanto a vivienda se refiere, basada en los factores ecológicos, climáticos, productivos y antropológicos para determinar una región o subregión.

Se conocen varias regionalizaciones en Guatemala; así se tiene que existe una regionalización de salud, de turismo, de educación, de estadísticas, etc., obedeciendo cada una de ellas, a los propósitos de las instituciones que las han elaborado.

Para llegar a la regionalización de la vivienda, se analizaron dos tipos de componentes principales, que a su vez, comprenden los factores que identifican con suma claridad, las propiedades más importantes para una regionalización.

Los dos tipos de componentes estudiados son:

Componentes primarios: comprenden los factores clima, altitud, calidad del suelo, población y aspectos culturales.

Componentes secundarios: cuyos factores son zonas de vida, tipo de cultivo, uso de la tierra, tenencia de la tierra y relaciones de producción.

2.1.1. Regiones y subregiones

Al analizar los componentes primarios e integrarlos con los componentes secundarios, se llegó a una aproximación de los patrones de vivienda que son una respuesta a las características propias de una región.

De lo anterior, los tipos de regiones y subregiones en que se ha zonificado la República y que tienen una gran influencia tanto sobre el tipo de vivienda como el tipo de losa a construir, se dan por la división del país de acuerdo a sus características climáticas, las cuales tendrán gran influencia en el tipo de losa a escoger. La división climática es la siguiente:

2.1.1.1. Planicie del norte

Las elevaciones oscilan entre los 300 hasta los 1 400 msnm, con registros de temperatura que varía entre los 20 y 30 °C. Comprende las planicies de Petén y la región norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal.

2.1.1.2. Franja Transversal del Norte

Se encuentra definida por la ladera de la sierra de Los Cuchumatanes, Chamá y la Sierra de las Minas; el norte de los departamentos de Huehuetenango, el Quiché, Alta Verapaz y la cuenca del río Polochic. Es una región muy lluviosa.

2.1.1.3. Meseta y altiplanos

Esta región comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala y algunas regiones de Jalapa y las Verapaces. Las montañas de la región varían en elevaciones mayores o iguales a 1 400 msnm, generando diversidad de microclimas. Esta región se encuentra densamente poblada, por lo que la presencia humana es un factor de variación apreciable.

2.1.1.4. Bocacosta

Región angosta que transversalmente comprende los departamentos de San Marcos y Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico. Sus valles comprenden elevaciones que oscilan entre los 300 a 1 400 msnm. Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país con máximos pluviométricos de junio a septiembre.

2.1.1.5. Planicie costera del Pacífico

Se extiende desde el departamento de San Marcos hasta Jutiapa con elevaciones de 0 a 300 msnm. Se caracteriza por ser un área con invierno seco.

2.1.1.6. Zona oriental

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y áreas de los departamentos de El Progreso, Jalapa, Jutiapa y Chiquimula. El factor condicionante es el efecto de sombra pluviométrica que ejercen las sierras de Chuacús y de Las Minas a lo largo de la cuenca del río Motagua, las elevaciones son menores o iguales a 1 400 msnm.

De igual manera, se puede dividir al país de acuerdo a sus características geográficas y de desarrollo, como se muestra en la tabla II, y como se representa en la figura 15; factores que de igual manera influirán en el tipo de losa de cada región por la economía que cada una de estas maneja.

Tabla II. **Conformación de regiones y subregiones**

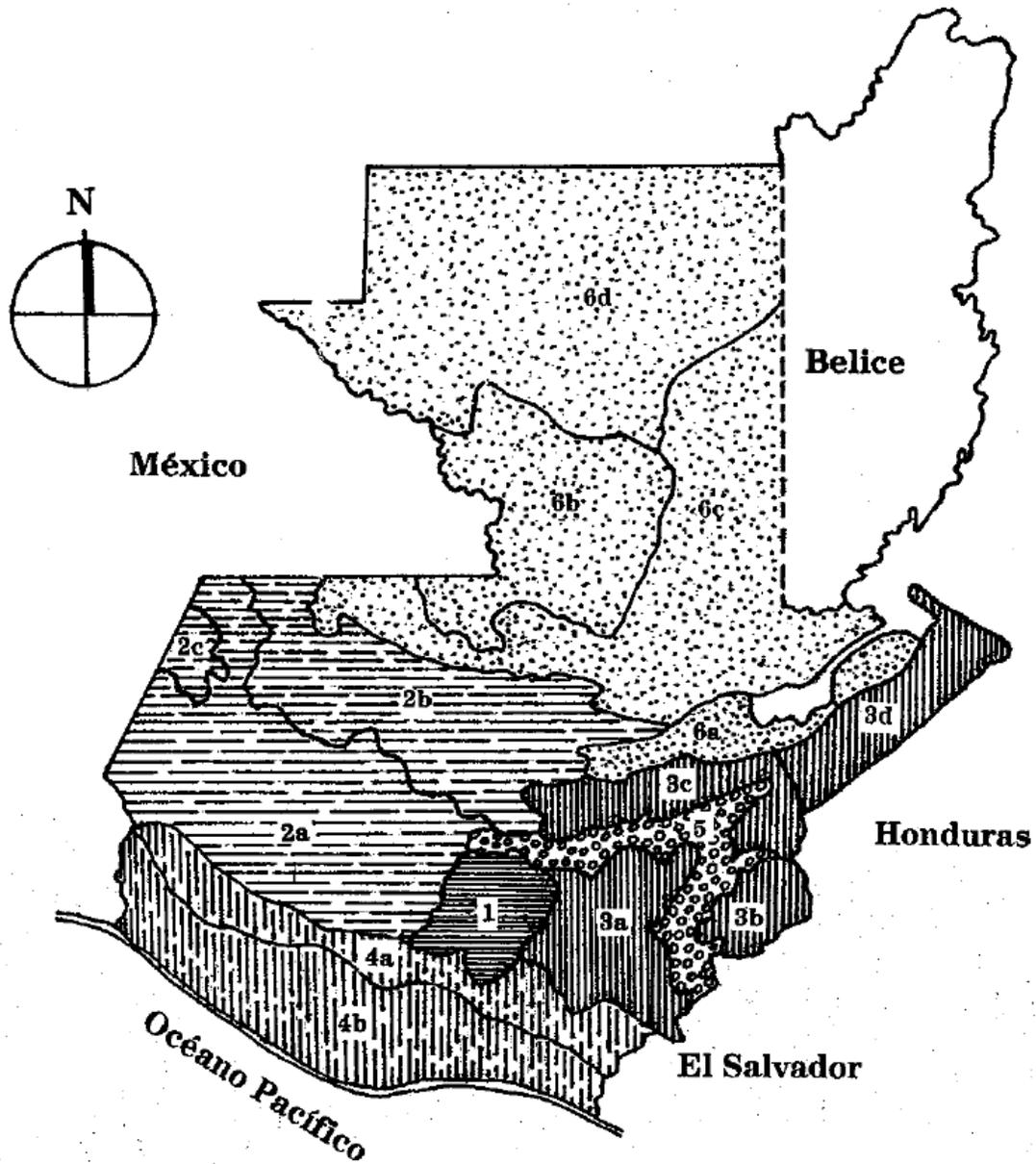
Región	Subregiones que comprende	Departamentos que abarca
1. Central		Guatemala y Sacatepéquez
2. Del Altiplano Occidental	2a. Altiplano	Noreste de Huehuetenango; zonas altas de San Marcos y Quetzaltenango; parte baja de El Quiché; Chimaltenango
	2b. Tierras Altas Sedimentarias	Área central de El Quiché; zona oriental de Baja Verapaz y parte baja de Alta Verapaz.
	2c. Nentón	Noreste de Huehuetenango.
3. Del Altiplano Oriental	3a. Jalapa	Jalapa; parte sur de El Progreso; norte de Santa Rosa.
	3b. Chorti	Zona central y oeste de Chiquimula
	3c. Tierras Altas	Oeste y extremo norte de Zacapa; extremo norte de Chiquimula; oeste de Baja Verapaz; extremo norte de El Progreso.
	3d. Del Motagua	Suroeste de Puerto Barrios, Izabal

Continuación de la tabla II.

4. Costera del Pacífico	4a. Boca Costa	Área central de San Marcos y Quetzaltenango; extremo norte de Suchitepéquez; Escuintla y Retalhuleu.
	4b. Costa	Extremo Sur de San Marcos y Quetzaltenango; casi todos los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla
5. Seca Oriental		Área central de El Progreso; suroeste de Zacapa; noroeste de Chiquimula; oeste de Jutiapa; extremo este de Jalapa.
6. Norte	6a. Cuenca del Polochic	Área central de Izabal; extremo sureste de Alta Verapaz; área pequeña del noreste de Baja Verapaz.
	6b. Del Lacandón	Suroeste de El Petén; extremo norte de El Quiché y Alta Verapaz.
	6c. Planicie Baja	Extremo noreste de Huehuetenango; extremo norte de El Quiché; are central de Alta Verapaz; norte de Izabal
	6d. Plataforma de Yucatán	Norte de El Petén.

Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p.

Figura 15. Regionalización de la República de Guatemala según características geográficas



Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p.

2.1.2. Tipología de vivienda

Concluida la regionalización del país, se seleccionaron las localidades en función de la representatividad de cada región, y se obtuvo la tipología de vivienda.

Las características de las viviendas por regiones indican que existe una verdadera integración con los patrones culturales, económicos y sociales de cada lugar. Es necesario reconocer que, debido al estado económico del país, los materiales prevaletentes son: lámina de zinc, teja y palma.

Tomando en cuenta los datos anteriores se tiene que existe una relación entre el material empleado como cubierta y la pendiente del techo, ya que cuando se trata de materiales vegetales como palma, paja, etc., la pendiente debe ser mayor, debido a que estos materiales tienen lento escurrimiento. Por otra parte, también la precipitación pluvial de la región obliga a incrementar o disminuir el ángulo de inclinación de la losa.

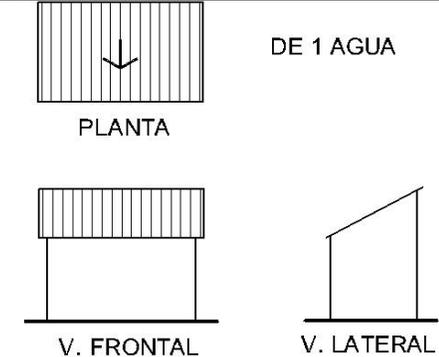
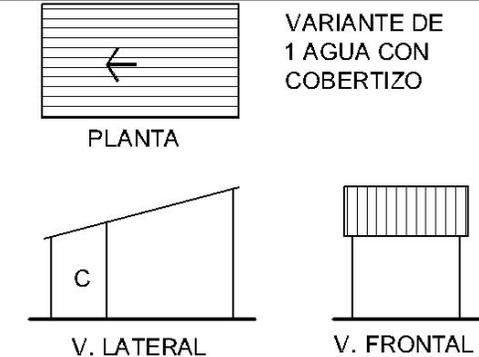
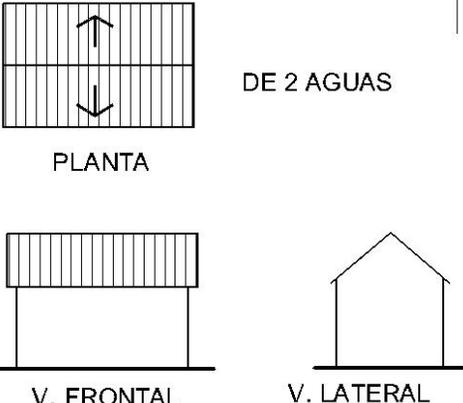
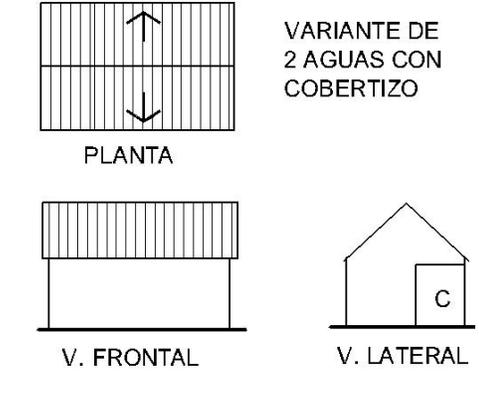
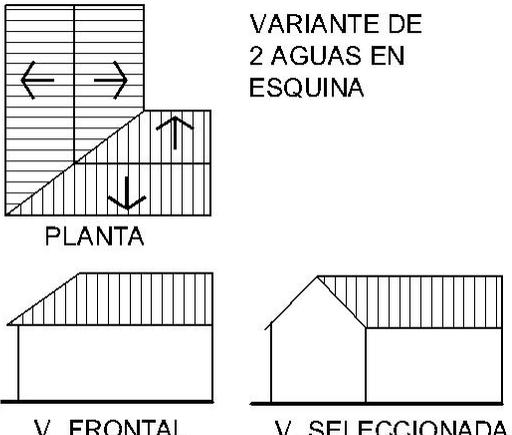
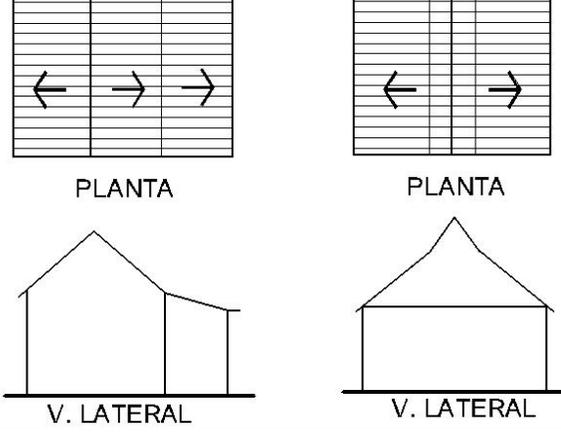
En cuanto a la forma que se le dará a la losa se tiene que las características climáticas de las regiones y subregiones, el uso espacial interno y los materiales utilizados en la cubierta, definen la forma del techo. Esto se detalla en la tabla III y figura 16.

Tabla III. Tipos de losas por regiones y subregiones

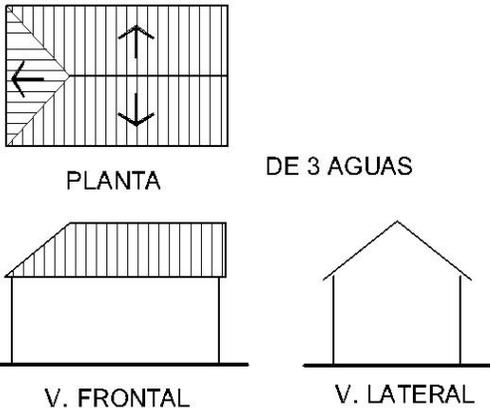
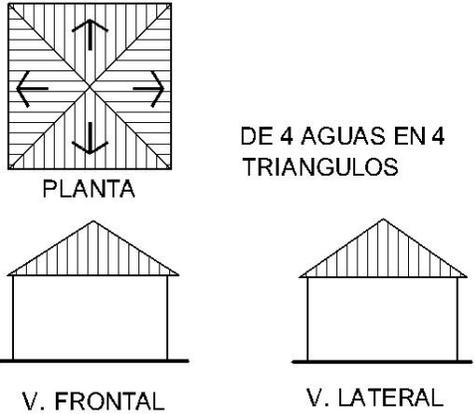
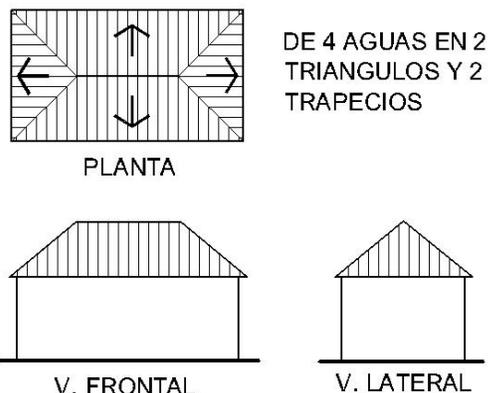
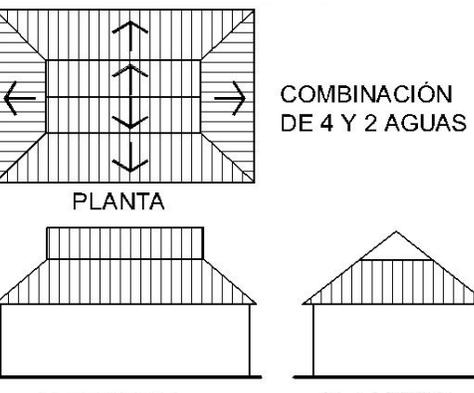
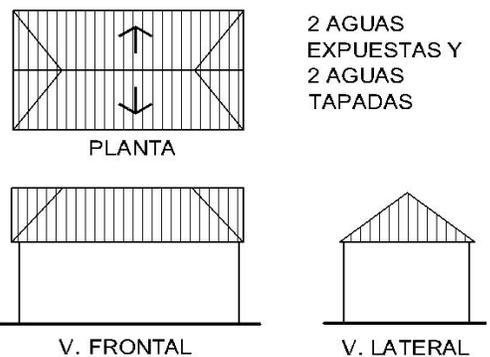
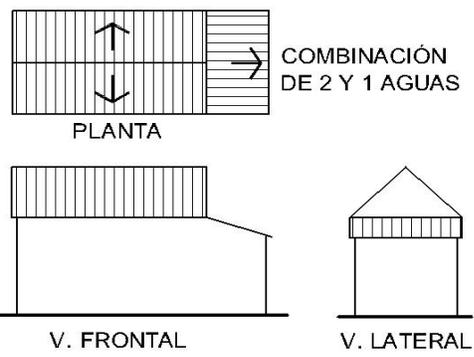
Región o Subregión	Material de Cubierta	Estructura de Techo		Material de Estructura		Forma del techo
		Viga	Tijera	Madera rolliza	Madera aserrada	
1	Lámina de zinc, teja	X	X		X	1 y 2 aguas
2a	Tejamanil, teja, paja, lámina de zinc			X	X	2 aguas
2b	Lámina de zinc, paja, teja, tejamanil	X	X	X	X	2 aguas
2c	Lámina de zinc, teja		X	X		2 aguas
3a	Teja		X	X	X	1, 2, 3 y 4 aguas
3b	Lámina de zinc, teja		X	X	X	1 y 2 aguas
3c	Lámina de zinc, palma		X	X	X	1, 2, 3 y 4 aguas
3d	Lámina de zinc, teja	X	X	X	X	2 y 4 aguas
4a	Lámina de zinc, palma, teja			X	X	1 y 2 aguas
4b	Lámina de zinc, palma, teja		X	X	X	1, 2 y 4 aguas
5	Lámina de zinc, palma, teja, hoja de caña	X	X	X	X	2 aguas
6a	Lámina de zinc, palma, hoja de caña		X	X		2 aguas
6b	Lámina de zinc, palma		X	X		4 aguas
6c	Lámina de zinc, palma, teja		X	X	X	2 y 4 aguas
6d	Lámina de zinc, palma		X	X	X	4 aguas

Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p.

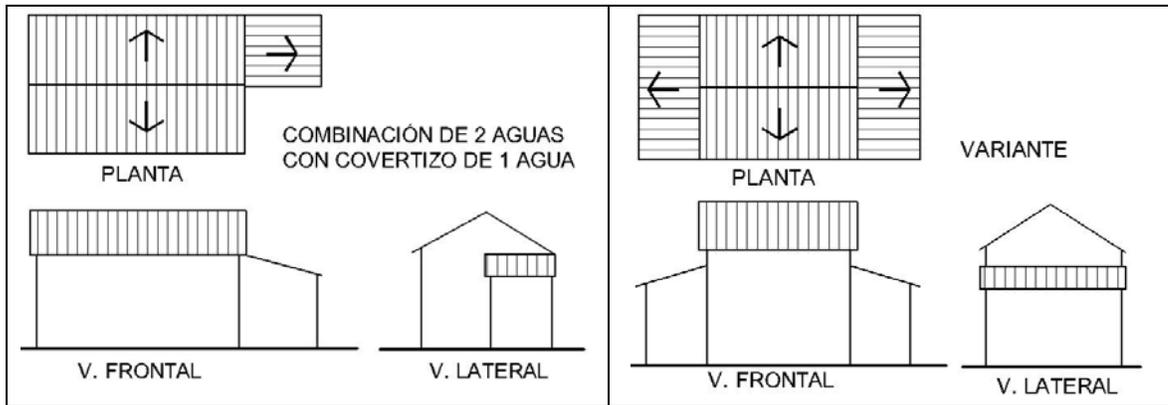
Figura 16. Forma del techo o losa

<p>Regiones y subregiones: 1, 2a, 2b, 3c, 4a</p>  <p>DE 1 AGUA</p> <p>PLANTA</p> <p>V. FRONTAL</p> <p>V. LATERAL</p>	<p>Regiones y subregiones: 1, 4a, 4b, 3</p>  <p>VARIANTE DE 1 AGUA CON COBERTIZO</p> <p>PLANTA</p> <p>V. LATERAL</p> <p>V. FRONTAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 5, 6a, 6d</p>  <p>DE 2 AGUAS</p> <p>PLANTA</p> <p>V. FRONTAL</p> <p>V. LATERAL</p>	<p>Regiones y subregiones: 2a, 2b, 3a, 3c, 4b, 5</p>  <p>VARIANTE DE 2 AGUAS CON COBERTIZO</p> <p>PLANTA</p> <p>V. FRONTAL</p> <p>V. LATERAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 1, 2a, 3a, 3b</p>  <p>VARIANTE DE 2 AGUAS EN ESQUINA</p> <p>PLANTA</p> <p>V. FRONTAL</p> <p>V. SELECCIONADA</p>	<p>Regiones: 1, 2a, 3a, 3b, 3c, 3d, 4a, 5, 6a, 6d</p>  <p>PLANTA</p> <p>PLANTA</p> <p>V. LATERAL</p> <p>V. LATERAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 2d</p>	<p>Regiones y subregiones: 2a, 3d, 4b</p>

Continuación de la figura 16.

 <p>PLANTA DE 3 AGUAS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>	 <p>PLANTA DE 4 AGUAS EN 4 TRIANGULOS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 2a, 2b, 3a, 3b, 3c, 3d, 4b, 5, 6b, 6c, 6d</p>	
 <p>PLANTA DE 4 AGUAS EN 2 TRIANGULOS Y 2 TRAPECIOS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>	 <p>PLANTA COMBINACIÓN DE 4 Y 2 AGUAS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 6a, 6b, 6c, 6d</p>	
 <p>PLANTA 2 AGUAS EXPUESTAS Y 2 AGUAS TAPADAS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>	 <p>PLANTA COMBINACIÓN DE 2 Y 1 AGUAS</p> <p>V. FRONTAL V. LATERAL</p>
<p>Regiones y subregiones: 2a, 3a, 3c, 5</p>	
<p>Regiones y subregiones: 3a, 5</p>	

Continuación de la figura 16.



Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p. 26, 27, 28.

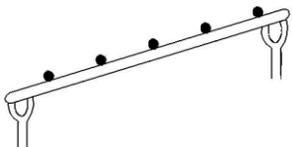
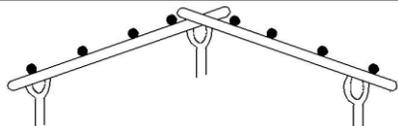
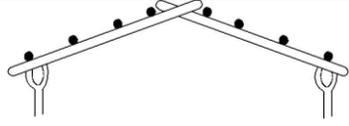
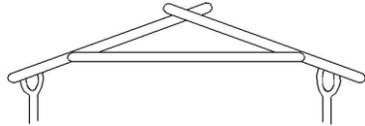
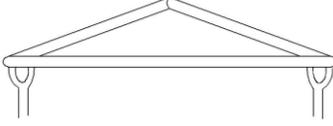
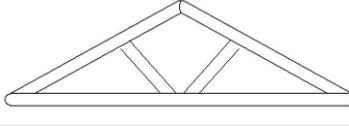
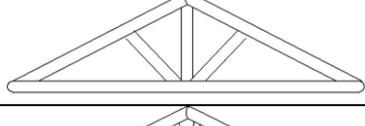
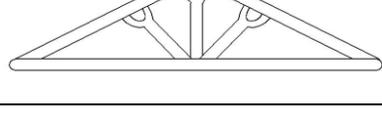
2.1.3. Estructura de techos prevalectentes

Respecto al sistema estructural utilizado, se puede decir que este depende de la habilidad técnica lograda a través de la experiencia del mismo propietario, que es a la vez, en muchos casos, el constructor.

El material utilizado en las estructuras es fundamentalmente madera, ya sea rolliza (rústica), o bien, cepillada (fina). Se presenta un ejemplo de esto en la figura 17. Finalmente se tiene que los elementos estructurales para una losa se componen principalmente de:

- Vigas simplemente apoyadas, de uno o varios tramos
- Marcos más o menos rígidos
- Tijeras (armadas en madera)

Figura 17. Estructura de losas prevalectentes

Esquema arquitectónico	Características	Luz usual
	Viga simplemente apoyada en sus extremos. Esfuerzos: flexión y corte.	≤ 3,00 metros
	2 vigas apoyadas en sus extremos. Esfuerzos: flexión y corte.	2,00 metros ≤ 5,00 metros
	2 vigas continuas de 2 tramos. Esfuerzos: flexión y corte.	4,00 metros ≤ 6,00 metros
	Marco rígido. Esfuerzos: flexión a lo largo y momentos en el nudo.	2,00 metros ≤ 5,00 metros
	Tijera. Esfuerzos: tracción y compresión.	3,50 metros ≤ 5,00 metros
	Tijera. Esfuerzos: tracción y compresión.	3,00 metros ≤ 4,00 metros
	Tijera. Esfuerzos: tracción y compresión.	3,00 metros ≤ 5,00 metros
	Tijera. Esfuerzos: tracción y compresión.	3,00 metros ≤ 5,00 metros
	Vigas y columnas. Esfuerzos: flexión y compresión.	3,00 metros ≤ 5,00 metros

Fuente: PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. Opciones de techos para vivienda en Guatemala. p.

2.2. Descripción de los diferentes sistemas de losas

A seguir se detallaran los cuatro sistemas de losas en estudio en el trabajo de graduación:

2.2.1. Losa tradicional

Placa de poco espesor, que se utiliza para cubierta; reforzada con acero de distintos calibres, este será colocado en forma de parrillas con medida uniforme. La losa tradicional está compuesta en su armadura por: rieles, tensiones, bastones, vigas y solera final.

Para resistir tensiones, se emplea refuerzo de acero, colocado en las zonas donde se prevé que se desarrollarán tensiones bajo las acciones de servicio. El acero restringe el desarrollo de las grietas originadas por la poca resistencia a la tensión del concreto.

El uso del refuerzo no está limitado a la finalidad anterior, también se emplea en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado.

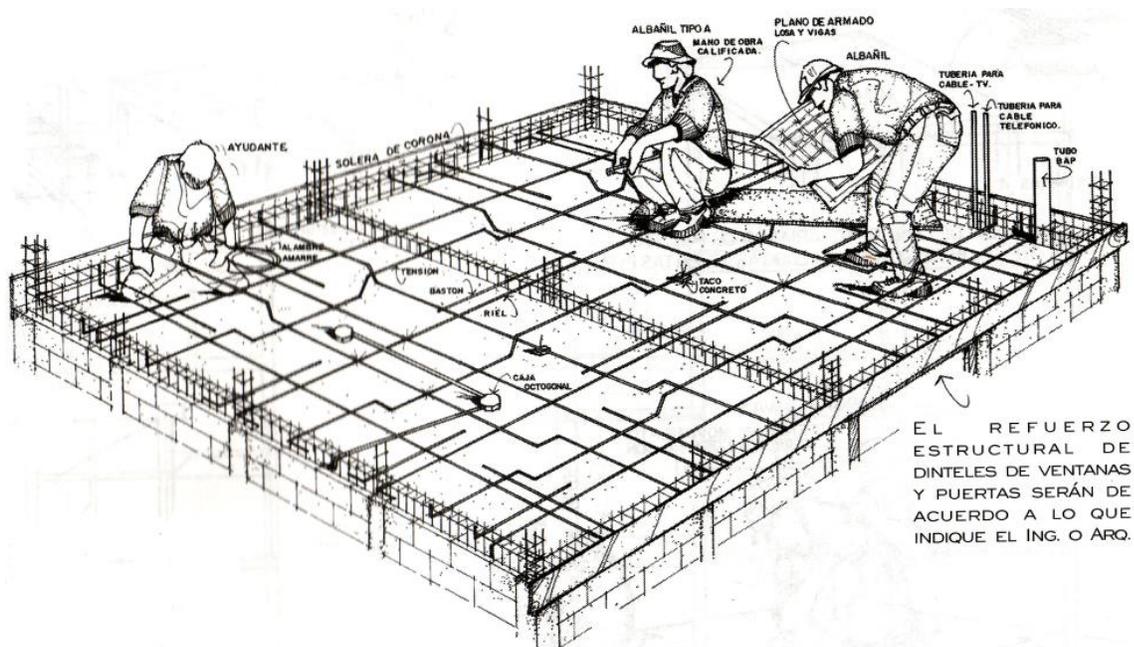
La combinación de concreto simple con acero de refuerzo constituye lo que se llama concreto reforzado, el cual es utilizado en diferentes fases constructivas de edificaciones, normalmente en las áreas de losas, antes de ser colocado el concreto dentro del encofrado o también conocido como formaleta que se encargará de evitar su cambio de forma, volumen o pérdida del concreto en un momento determinado, ha sido colocado en forma previa y debidamente el acero de refuerzo. En la figura 18 se ejemplifica el armado de una losa tradicional.

Riel o temperatura: este elemento absorbe la temperatura general de toda losa evitando posibles fisuras; se ubica en la parte inferior de la losa y recorre toda su longitud en ambos sentidos.

Tensión: este refuerzo estructural tiene como objeto principal evitar deformaciones en la parte central de la losa y en donde lleve apoyos; tiene un dobléz a 45°, conocido como dobléz de tensión.

Bastones: los bastones son colocados en la parte superior de la losa para darle rigidez y evitar que esta se deflecte.

Figura 18. Losa tradicional



Fuente: Arq. GARCÍA, William. Método práctico de dibujo e interpretación de planos. p. 77.

Ventajas de las losas tradicionales:

- Flexibilidad de dimensiones y formas.
- Sencillez de ejecución.
- Sistema económico ya que no necesita de mano de obra calificada para su fundición.
- En forma conjunta con las vigas y columnas forman un sistema rígido capaz de trasladar la carga horizontal; principalmente debida al viento y/o sismo; a los elementos resistentes.

Desventajas:

- Requiere de un importante apuntalamiento que se incrementa notablemente cuando las alturas de los entrepisos son mayores a las tradicionales.
- Hay un período de secado a determinar en cada caso, en el cual debe mantenerse en forma total el apuntalamiento efectuado.
- El rango óptimo de utilización del mismo es hasta 3 metros en losas apoyadas en una dirección y 6 metros para losas en dos direcciones. Para luces mayores debe adoptarse soluciones como losas nervadas resultando en solución antieconómica.

2.2.2. Losa prefabricada

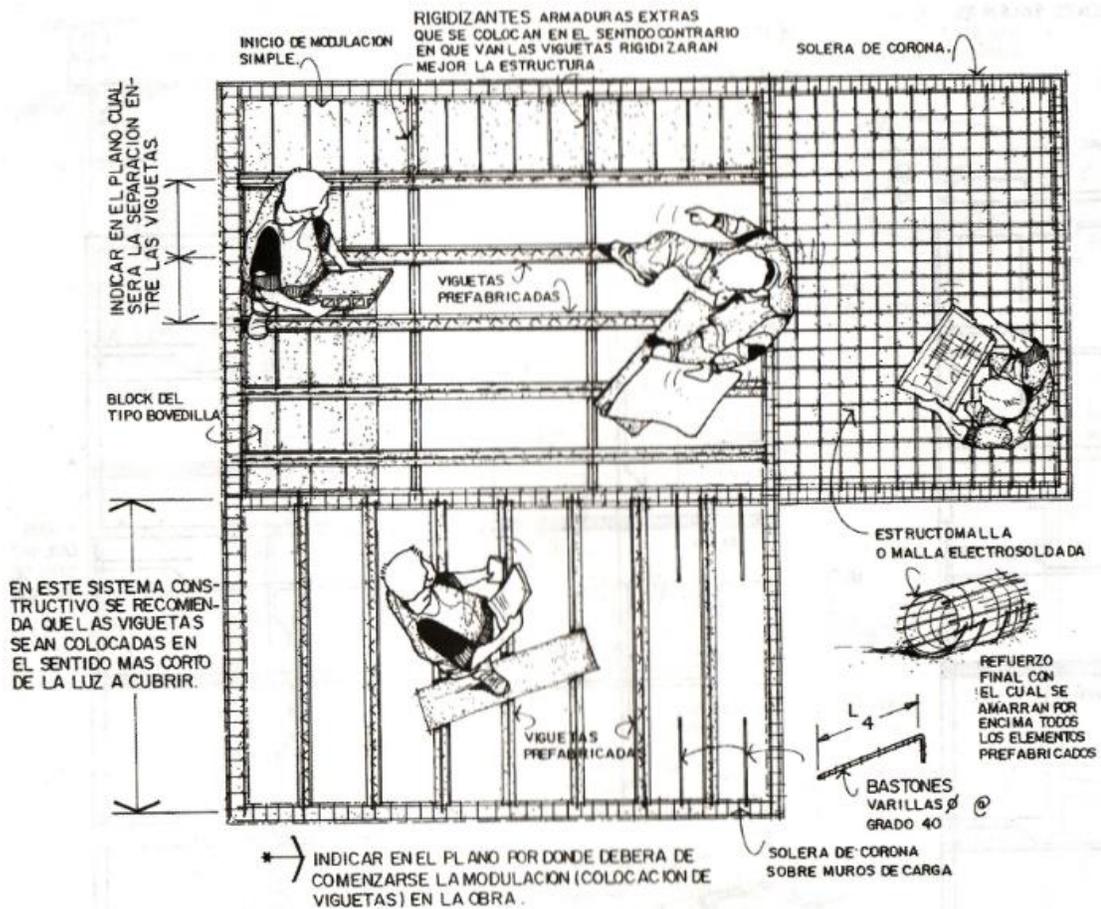
El sistema de vigueta y bovedilla está constituido por los elementos viguetas de concreto presforzado y las bovedillas como elementos aligerantes. Las viguetas se producen en diferentes tamaños, sección geométrica y diferentes armados, asimismo, las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte, de tal forma que se tiene una gran variedad de combinaciones que pueden satisfacer cualquier necesidad.

Se puede asegurar que hasta 6,00 metros de claro es el sistema más económico de losas. Aunque inicialmente se concibió este sistema para su aplicación en las viviendas, en la realidad se ha aplicado en casi todo tipo de losas y entresijos, debido a su bajo peso, estos elementos permiten que se efectúe su montaje manualmente, eliminando el costo de equipos pesados.

Las viguetas ya fundidas en la losa forman una serie de vigas "T" que transmiten eficientemente las cargas de la losa a los muros y/o vigas de la estructura.

Se refuerzan las zonas de la losa de acuerdo a los esfuerzos a los que están sometidas, combinando las propiedades del concreto y del acero para optimizar la estructura y su proceso de construcción. En la figura 19 se detalla la vista en planta de una losa prefabricada.

Figura 19. Losa prefabricada



Fuente: Arq. GARCÍA, William. Método práctico de dibujo e interpretación de planos. p. 80.

Ventajas:

- Ahorro en formaleta
- Menor tiempo de colocación
- Ahorro en mano de obra

- Menor peso muerto
- Aislante térmico
- Aislante acústico

Desventajas:

- Si las viguetas van apoyadas en muros de carga, estos deberán llevar una cadena perimetral.
- Cuando los claros por cubrir sean mayores de 3,50 metros se debe emplear un apoyo intermedio durante el montaje. Si los claros son superiores a 5,00 metros se deben emplear dos apoyos.
- Para evitar la formación de grietas en el yeso usualmente colocado en la cara inferior de la losa, se debe usar metal desplegado en las zonas de unión entre las viguetas y las bovedillas.

2.2.3. Losa de madera

Los techos de madera son discontinuos, no son húmedos, su superficie es rígida, tienen una buena estabilidad y permite fijar lámparas de techo, difusores, etc. Para colocar un techo de madera se deben fijar unos rástreles, en estos se ubicarán las planchas de madera que le proporcionarán el estilo adecuado al techo.

La madera para el techo se vende de manera independiente, con la cual luego se debe de acoplar para conseguir forrar el techo. Mayormente se utiliza planchas cuadradas para la comercialización. Las planchas utilizan clavos y tornillos para lograrse fijar a los rástreles. Del mismo modo es aconsejable disponer de un pegamento adecuado para tener una mejor unión entre las planchas. En la figura 20 se presenta una ilustración de detalles de elementos estructurales a base de madera.

La durabilidad natural de la madera está asociada a su densidad. La madera menos densa es más susceptible de ser atacada; también se puede aseverar que las maderas de colores oscuros tienden a ser más durables naturalmente que aquellas de colores claros, con algunas excepciones.

Se debe proteger la madera con agentes químicos para limitar o evitar el ataque de hongos e insectos depende de las características de la madera a utilizar y de la condición de riesgo o exposición que vaya a tener una vez en servicio.

La humedad en sí no daña la madera pero propicia el desarrollo de hongos, por eso es importante usar madera seca y procurar que una vez en servicio no se exponga a humedad permanente o intermitente. Se deben considerar aspectos básicos de protección por diseño. Es recomendable hacer énfasis en diseñar para evitar o limitar la exposición a la humedad. Evitar techos planos, colocar goteros en los extremos, considerar canaletas recoge agua opcional, impermeabilizar la superficie superior inmediatamente después de colocar la madera y tener un acabado final que aisle la madera del agua son aspectos imprescindibles para obtener un techo cuya funcionalidad resulte aceptable.

Desventajas:

- Se deben aplicar químicos especiales para evitar el desgaste por clima o evitar perforaciones de termitas u otros insectos.
- De no aplicarle los químicos adecuados pueden presentarse grietas superficiales que se vean por ambas caras de la pieza.
- Presencia de hongos por factores climáticos.

2.2.4. Losa – acero

El sistema losa - acero es un sistema de losas de entrepiso y de cubierta que incorpora láminas de acero formadas en frío, galvanizadas y una losa de concreto reforzada, vaciada sobre dichas láminas y que actúan de manera monolítica, conformando una sección compuesta.

En el sistema de losa-acero se logra la interacción del perfil metálico con el concreto, por medio de protuberancias que trae consigo. Parte del espesor de concreto se convierte en patín de compresión, mientras que el acero resiste los esfuerzos de tensión y la malla electrosoldada resiste los esfuerzos ocasionados por los cambios de temperatura en el concreto.

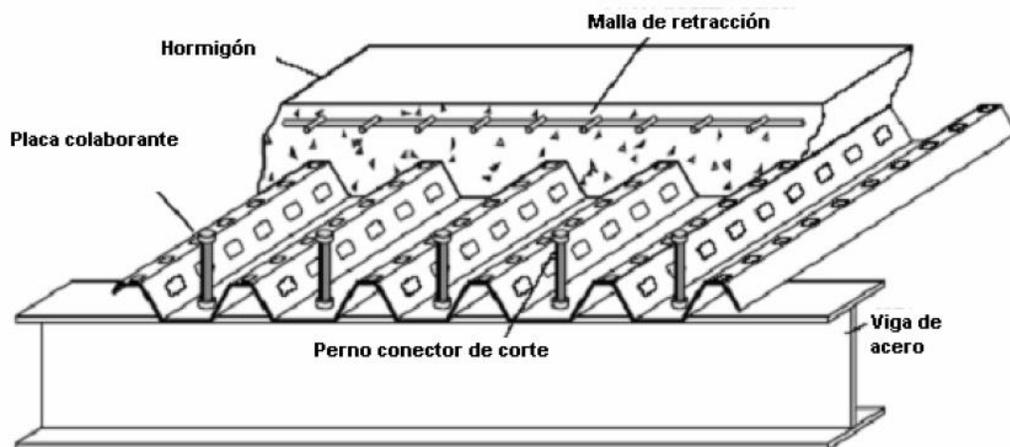
Sus componentes básicos son: lámina acanalada con indentaciones, concreto, malla electro-soldada (refuerzo por temperatura) y como accesorio opcional, los conectares de corte para el efecto de viga compuesta o para incrementar la capacidad propia de la losa-acero y concreto para su resistencia a la compresión.

La forma de fijar la lámina a la estructura de soporte, ya sean *joists*, vigas, canales, etc., es por medio de puntos de soldadura, clavos de disparo o tornillos auto-taladrantes o conectores de cortante.

Antes de fraguar el concreto, la lámina soporta el peso del concreto, sirviendo ésta como formaleta. Una vez fraguado el concreto, trabajan en conjunto el concreto y el acero, como un sólo cuerpo estructural. Dependiendo de la separación entre apoyos y el calibre de la losa-acero, se obtienen diferentes capacidades de carga.

Este sistema reemplaza la armadura de varillas de hierro, funcionando como armadura de tracción para los momentos flectores positivos en el trabajo a la flexión de la losa durante la vida útil de la edificación. En la figura 21 podemos apreciar los elementos que componen una losa – acero.

Figura 21. **Elementos de losa – acero**



Fuente: Acesco. Manual Metaldeck. p. 35.

Ventajas:

- Rápida construcción de losa.
- El peso de carga a la estructura es menor.
- Se puede trabajar en varios niveles al mismo tiempo.

Desventajas:

- Este sistema de losa presenta el inconveniente que la parte inferior debe ser cubierta por las ondulaciones que presenta, por lo que se debe invertir en los materiales para realizar esto.

3. FACTORES Y MATERIALES DE LOS DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS

3.1. Factores a considerar para el diseño de losas

Para iniciar el diseño de losas se deben estudiar los componentes que las conforman y que actuarán en ellas. Entre estos factores se tienen los tipos de cargas y los materiales con los cuales estará elaborada.

3.1.1. Tipos de cargas que afectan el diseño de losas

Hoy en día podemos diferenciar las cargas que afectan una determinada estructura según distintos criterios. Estos criterios que brindan una clasificación de cargas pueden ser según su origen, tiempo de aplicación y superficie de incidencia.

En una losa y para funciones específicas del presente trabajo es común analizar las cargas gravitacionales, las cuales se encuentran incluidas en la clasificación según su origen.

Estas cargas gravitacionales son:

3.1.1.1. Carga viva

La carga viva llamada también de ocupación es toda carga que gravita sobre la estructura con una intensidad variable en el tiempo. Se debe

considerar para el análisis y diseño estructural de las losas. En la tabla IV se presentan diferentes valores de cargas vivas usadas en el país.

Tabla IV. **Cargas vivas en edificaciones para la República de Guatemala**

Tipos de ocupación o uso	Carga viva (kg/m ²)
Vivienda	200
Oficina	250
Hospitales - encamamiento y habitaciones	200
Hospitales – servicios médicos y laboratorio	350
Hoteles – alas de habitaciones	200
Hoteles – servicios y áreas públicas	500
Escaleras privadas	300
Escaleras públicas o de escape	500
Balcones, cornisas y marquesinas	300
Áreas de salida y/o escape	500
Vestíbulos Públicos	500
Plazas y áreas públicas a nivel de calle	500
Salones de reunión	
Con asientos fijos	300
Sin asientos fijos	500
Escenarios y circulaciones	500
Instalaciones deportivas públicas	
Zonas de circulación	500
Zonas de asientos	400
Canchas deportivas	Según tipo de cancha
Aulas y escuelas	200
Bibliotecas	
Áreas de lectura	200
Depósito de libros	600
Almacenes	
Minoristas	350
Mayoristas	500
Estacionamientos y garajes	
Automóviles	250
Vehículos pesados	Según vehículo
Rampas de uso colectivo	750
Corredores de circulación	500
Servicio y reparación	500
Bodegas	
Cargas livianas	600
Cargas pesadas	1200

Continuación de la tabla IV.

Fábricas	
Cargas livianas	400
Cargas pesadas	600
Cubiertas pesadas	
Azoteas de concreto con acceso	200
Azoteas sin acceso horizontal o inclinadas	100
Azoteas inclinadas más de 20°	75
Cubiertas livianas	
Techos de láminas, tejas, cubiertas plásticas, lonas, etc. (aplica a la estructura que soporta la cubierta final)	50

Fuente: Normas Estructuras de Diseño recomendadas para la República de Guatemala AGIES
NR – 2: 2000. p. 28.

3.1.1.2. Carga muerta

La carga muerta o permanente es aquella que ocupa una posición fija y permanente en la estructura. Estas cargas comprenden todas las cargas de elementos permanentes de la construcción incluyendo la estructura en sí, pisos, rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos, equipo permanente rígidamente anclado. Las fuerzas netas de preesfuerzo también se consideran cargas muertas.

3.2. Materiales para la construcción de losas

Como se ha mencionado, las losas han sido reinventadas y adecuadas con cada nueva técnica descubierta en su aplicación y construcción. Se presentan las características y propiedades de cuatro materiales utilizados en la construcción de sistemas de losas. Concreto, acero, madera y prefabricados.

3.2.1. Concreto

Para aplicar correctamente el concreto en la construcción de sistemas de losas se deben conocer detalladamente las características y propiedades que este material posee. Es también importante conocer su preparación y colocación.

3.2.1.1. Características

El concreto u hormigón es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos sobre probetas de hormigón.

Para superar este inconveniente, se adecua el hormigón introduciendo barras de acero, conocido como hormigón armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero.

Cuando se diseña un elemento de hormigón armado se establecen las dimensiones, el tipo de hormigón, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función de los esfuerzos que deberá resistir cada elemento.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del hormigón un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a $2\,350\text{ kg/m}^3$
- Resistencia a compresión: de $150\text{ a }500\text{ kg/cm}^2$ (15 a 50 MPa) para el hormigón ordinario
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
 - De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana $3/4$ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

3.2.1.2. Propiedades del concreto

Las cuatro propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad.

Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes. Para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras.

Trabajabilidad. En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad.

Durabilidad. El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

Impermeabilidad. Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

Resistencia. Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

3.2.1.3. Proceso de mezclado y colocación

- Preparación del concreto en máquina:

Se realiza utilizando la dosificación que especifique los planos y echando el material a la cuba (tambor) giratoria de la siguiente manera:

- Una parte de grava triturada y parte del agua, así, mientras gira, la grava va lavando la superficie interior de la cuba.
 - Se coloca el cemento, el resto del agua y la arena.
 - Se agrega el resto de la grava
 - Al preparar la primera mezcla se agrega un 20 % más de cemento para que cubra el tambor y evite que la primera carga quede pobre de cemento.
 - Duración del amasado: no debe ser ni muy corto ni muy largo, en una concretadora que esté funcionando bien. Cuando el tamaño de la cuba aumenta, el tiempo de amasado o número de vueltas aumenta.
- Preparar concreto u hormigón manualmente:
 - Escoja un lugar limpio para la preparación del concreto, de acuerdo con la dosificación que den los planos, generalmente es 1:2:3.
 - Medir arena según dosificación y regarla.
 - Medir el cemento y regarlo sobre la arena.
 - Revolver arena y cemento hasta que la mezcla coja un color gris, uniforme.
 - Regar la mezcla y medir el triturado.
 - Regar el triturado encima de la mezcla de arena y cemento.

- Abrir huecos en la mezcla y agregar agua lentamente.
- Revolver hasta que quede una mezcla pastosa sin mucha agua y fácil de manejar.

Se debe tener un ambiente de trabajo limpio y libre de obstáculos, en el que se puedan movilizar libremente las personas y maquinarias que participarán en la obra.

Apuntalamiento y encofrado: se deben armar los encofrados para darle la forma deseada a la losa y apuntalarlos adecuadamente de manera que se resistan las cargas durante la construcción hasta que se alcance la resistencia propia de cada elemento.

El encofrado: es la estructura temporal que sirve para darle al concreto la forma definitiva. Su función principal es ofrecer la posibilidad de que el acero de refuerzo sea colocado en el sitio correcto, darle al concreto la forma y servirle de apoyo hasta que endurezca, está constituido por el molde y los puntales, que pueden ser metálicos o de madera.

Los puntales son los elementos que le proporcionan soporte al encofrado hasta que el concreto fragüe y la estructura sea capaz de resistir las cargas debidas a su propio peso.

Luego de haber encofrado y apuntalado correctamente la losa se procede a la colocación del acero de refuerzo interior. Es importante que las barras se fijen firmemente en su posición para evitar que se muevan cuando se esté vaciando el concreto, también se deben respetar los recubrimientos que deben tener, si es necesario se pueden apoyar sobre tacos de concreto que tengan

una altura igual a la del recubrimiento y una resistencia mayor o igual a la del concreto que se vaciará en la losa.

Colocación de los conductos y tuberías para las instalaciones eléctricas y sanitarias: se deben ubicar en su posición antes de vaciar el concreto. Luego de esto se coloca el acero superior teniendo las mismas precauciones que el acero inferior.

Luego de tener todos los elementos de la losa ubicados en su sitio, se lleva a cabo el proceso de vaciado de concreto, el cual puede ser mezclado en obra o traído de una planta de premezclado.

Durante el vaciado se debe expandir el concreto por toda la losa con rastrillos metálicos y vibrar la mezcla para que se asiente uniformemente y adopte la forma del encofrado evitando así que queden espacios vacíos dentro de la losa que pudieran perjudicar su comportamiento estructural o dejar al descubierto el acero de refuerzo o las tuberías.

Curado del concreto: el objetivo principal del curado es evitar que se evapore el agua de la mezcla, lo que podría producir grietas de retracción debida a la pérdida de humedad y alteraciones en la relación agua/cemento de la mezcla, lo que incide directamente en su resistencia. Para obtener mejores resultados, se recomienda humedecer el concreto durante los primeros 7 días de vaciado.

Desapuntalamiento y desencofrado: una vez iniciado el fraguado del concreto se pueden comenzar a retirar los encofrados laterales de la losa y posteriormente se pueden retirar algunos puntales. El desapuntalamiento se

debe ir haciendo en forma progresiva a medida que van pasando los días, hasta que se pueden retirar todos los puntales y el encofrado a los 21 días.

3.2.2. Acero

Al utilizar el acero en la construcción de sistemas de losas se deben conocer a fondo las características y propiedades de este. Es también de vital importancia conocer su manejo, transporte y proceso de colocación.

3.2.2.1. Características

Para losas de acero, es usual usar la lámina losa-acero que corresponde a un perfil acanalado con gran capacidad de carga y extraordinaria resistencia estructural que se utiliza en sistemas de entrepiso metálico, donde en combinación con el concreto forma la losa reforzada que reduce tiempos de construcción lo cual proporciona ahorro en costos de mano de obra y equipo.

El peralte variará según la distribuidora seleccionada para el producto al igual que los acabados galvanizados y galvanizado pre pintado en la cara interior. Las longitudes serán de acuerdo a las necesidades del proyecto.

3.2.2.2. Propiedades del acero

Al usar losa-acero con valles más amplios que las crestas se aumenta la resistencia a las cargas al aumentar el brazo de palanca entre el acero (tensión) y el concreto (compresión).

Mayor ancho efectivo del patín a compresión en el concreto en el apoyo, lo que incrementa la resistencia al momento negativo. Mayor área de concreto envolviendo los conectores de cortante al trabajar como viga compuesta.

Embozado más ancho y profundo, lo que da una mayor superficie de contacto entre la lámina y concreto, efecto crítico en sistemas de construcción compuestos.

Embozado en crestas, donde el cortante es mayor, además de estar en la zona en que no se produce agrietamiento, permitiendo cargas mayores y que no disminuyen con el tiempo.

3.2.2.3. Colocación

Se debe tener en cuenta la geometría del área a cubrir y se debe empezar en un lado para terminar en el otro. Cuando se requieran cortes por geometrías irregulares en la obra es necesario el uso de sistemas de corte aplicables al acero galvanizado tales como sistemas de corte por abrasión (pulidoras), corte por acetileno (soplete) o con electrodos (soldadura).

Debe tenerse especial cuidado en la correcta posición de colocación de las láminas, garantizando que ellas queden trabajando de una forma adecuada. Se verifica si la luz que cubre la losa-acero requiere o no de apuntalamientos temporales. En el caso de apuntalamientos temporales, estos deben permanecer de 10 a 15 días y se colocarán en la mitad de la luz.

Se instalan las tapas de cierre para evitar que el concreto se salga en los casos en que el vaciado de concreto lo requiera. Las láminas de losa-acero deben sujetarse unas con otras con tornillos autoperforantes, remaches pop o

puntos de soldadura (hasta calibre 20) en el centro de la luz para luces menores a 1,50 metros y cada 1,00 metros cuando la luz supera los 1,50 metros.

Se instala la malla electro soldada sobre los dados de concreto de tal forma que esta quede a 2,50 centímetros por debajo de la superficie de la losa de concreto.

Al fundir una placa de losa-acero con varias luces continuas, generalmente se presenta sobre el apoyo, tensión en la parte superior de la placa de concreto. Esto normalmente genera fisuras en la superficie, que aunque en muchos casos no presentan problemas estructurales, si presentan problemas estéticos. En estas zonas es necesario adicionar varillas de acero para absorber los esfuerzos que se generen y evitar la presencia de fisuras.

Para evitar estas fisuras, es recomendable utilizar varilla de acero No. 4 con una longitud mínima de 1,60 metros colocadas encima de los valles de la lámina con un recubrimiento mínimo de concreto de 2,50 centímetros. La utilización de acero de retracción no se debe suspender en esta región.

Como recomendación general y para un mejor comportamiento del acero de refuerzo, es importante chequear que las varillas estén instaladas por encima del acero de retracción.

Para el paso de tuberías deben dejarse los tubos colocados antes de que se funda la losa. Se procede a instalar los tubos eléctricos y sanitarios y demás elementos necesarios embebidos en la losa.

Se coloca la malla electro soldada de refuerzo o se arma la malla con varillas manualmente, si es el caso.

Se colocan estacas que indiquen la altura final de la losa. Se funde la losa de concreto teniendo presente no dejar acumular cantidades considerables de concreto en el mismo sitio, ya que se pueden generar deformaciones y en el peor de los casos una falla de las láminas o testeros de la viga.

Luego de esto es necesario realizar el mismo proceso de curado que se requiere en una losa tradicional.

3.2.3. Madera

Si se desea construir una losa utilizando el material madera y al encontrar una variedad amplia de estas, se deben investigar las características y propiedades que cada una ofrece, para la correcta elección entre las existentes.

3.2.3.1. Características

Los techos de madera son discontinuos, no son húmedos, su superficie es rígida, tienen una buena estabilidad y permite fijar lámparas de techo, difusores, etc.

Debido a que las características de la madera podrán ser diferentes según la familia del árbol del que provenga, se detallarán y explicarán propiedades de la madera de uso general para la construcción de techos.

3.2.3.2. Propiedades de la madera

La durabilidad natural de la madera está asociada a su densidad. La madera menos densa es más susceptible de ser atacada; también se puede aseverar que las maderas de colores oscuros tienden a ser más durables naturalmente que aquellas de colores claros, con algunas excepciones.

Proteger la madera con agentes químicos para limitar o evitar el ataque de hongos e insectos depende de las características de la madera a utilizar y de la condición de riesgo o exposición que vaya a tener una vez en servicio. Si se aplican las medidas de prevención adecuadas, la madera para techo se puede utilizar sin preservación química.

Es recomendable hacer énfasis en diseñar para evitar o limitar la exposición a la humedad. Evitar techos planos, colocar goteros en los extremos, considerar canaletas recoge aguas (opcional), impermeabilizar la superficie superior inmediatamente después de colocar la madera y tener un acabado final que aisle la madera del agua son aspectos imprescindibles para obtener un techo cuya funcionalidad resulte aceptable.

A continuación se detallan propiedades específicas de la madera caoba.

- El peso específico de la caoba es de 0,50 a 0,60 gr/cm³, de 25 a 53 libras por pie cúbico.
- Su módulo de rotura es de 842 kg/cm².
- Módulo de elasticidad de 100 000 – 106 000 kg/cm²
- Resistencia máxima a compresión paralela a la fibra de 491 kg/cm²
- Resistencia máxima a compresión perpendicular a la fibra de 67 kg/cm²

- Durabilidad natural: el duramen de caoba es resistente a hongos de pudrición, moderadamente resistente a termitas.
- Trabajabilidad: es una madera de fácil trabajabilidad con herramientas manuales y con maquinaria, fácil de aserrar y cortar, cepillar, encolar, clavar, atornillar, tornear y se obtienen excelentes acabados.

3.2.3.3. Colocación

Debido a la gran variedad de techos, sobre todo arquitectónicos que se pueden lograr utilizando la madera como elemento estructural, se ejemplificará la instalación y montaje de un tipo de techo: artesonado.

Se inicia con la construcción de tijeras como elementos estructurales. Se deben ubicar las tijeras en espacios iguales para una mejor distribución de carga (esto a nivel de la planificación). Se deben colocar en la viga o solera final los pines para situar cada una de las tijeras, estos deben ser de $\frac{1}{2}$ " y/o $\frac{3}{4}$ "; esto para tener un elemento de amarre en cada una de las tijeras.

Sacar el alto del artesón, para hacer el trazo de corte en cada una de las piezas que forman la tijera. El alto del techo estará definido en la planificación, y la forma de encontrar el punto de cumbrera es la siguiente: el ancho interno se divide entre dos y el resultante se multiplica por el porcentaje de la inclinación deseada.

Se hace el trazo en el suelo, esto para tener la verdadera forma del corte para empalme de tijera. Una vez se tiene el punto trazado se procede a trazar las piezas para poder hacer los cortes de los empalmes; teniendo en cuenta que sean parejas (derecha e izquierda).

Después de tener las piezas; ya con el corte se procede a ensayar los empalmes, colocándole prensas, por si hay desajustes en los empalmes. Estando el empalme aún prensado se procede a perforar donde irán los pernos de presión, para la tijera en el área de empalme.

Se procede a colocar las piezas en el lugar donde posteriormente se podrán subir con lazo o ya sea por medio de andamios. Una vez colocadas las tijeras, se procede a marcar la ubicación de los pernos de presión, esto se hará con cada una de las tijeras, pero se colocarán primero las dos tijeras de los extremos.

Una vez colocadas las tijeras de los extremos, se coloca un hilo de extremo a extremo, para tener el alto de cumbrera, previo a la colocación de las demás tijeras; el hilo deberá estar bien tenso.

Cada una de las tijeras se le perfora al centro y el grosor de cada una para introducir el perno, después de colocar la tijera y ver que está nivelada, tanto en punto de cumbre como en las cabezas, se doblarán los pernos hacia arriba buscando el punto de cumbrera. Esto hará que la tijera no caiga y mantenga la altura de cumbrera.

Teniendo las tijeras colocadas (por ejemplo en un techo de dos aguas se procede al despunte de cada tijera, para tener el saliente de cada punta), el corte de cada punto deberá ser perpendicular o a escuadra.

Teniendo los salientes se procede a ver la distancia por lado de cada agua; esto para ver la distribución de machimbre y/o entablada. Luego se procede a entablar el techo y posteriormente a aplicar los químicos necesarios.

3.2.4. Prefabricados

Los elementos prefabricados proporcionan diferentes características y propiedades para el constructor, según el lugar de producción, por lo que se debe consultar al proveedor cada una de estas y los manuales o normas de colocación.

3.2.4.1. Características

Las viguetas se producen en diferentes tamaños (sección geométrica) y diferentes armados, asimismo, las bovedillas tienen diferentes secciones tanto en longitud, ancho y peralte, de tal forma que se tiene una gran variedad de combinaciones que pueden satisfacer cualquier necesidad.

La separación entre viguetas es variable, pero será de centro a centro de las mismas. El concreto es de alta resistencia $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$. Sobre la superficie de la vigueta y bovedilla lleva un colado complementario de compresión de 4,00 centímetros de espesor que hará trabajar la losa como sección compuesta reduciendo vibraciones y deformaciones.

El sistema no requiere cimbra para claros menores de 4,00 metros y para claros mayores requiere únicamente apuntalamiento al centro del claro y debe ser colocado inmediatamente después del montaje de las viguetas, haciendo apenas contacto con estas.

3.2.4.2. Propiedades de los prefabricados

- La fuerza inicial de tensado será la correspondiente al 70 % de la resistencia última de tensión de los alambres.

- El módulo de elasticidad del acero es de aproximadamente $E_s = 1\,997\,000 \text{ kg/cm}^2$.
- Se usa para la vigueta prefabricada concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días, pero para la etapa de transferencia del presfuerzo se deberá tener como mínimo de resistencia en el concreto de $f'ci = 280 \text{ kg/cm}^2$.
- Para el firme de compresión o losa colada en sitio, el concreto deberá tener una resistencia de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ a la edad de 28 días.

3.2.4.3. Colocación

Se colocan puntales y largueros de apoyo y nivelación y se retiran a los 7 días del colado de la capa de compresión. Se colocan postes de 4" x 4" a cada 1.50 metros y largueros de la misma sección a cada 1,60 metros para servir de apoyo provisional a las viguetas.

Colocar las viguetas apoyadas sobre los muros que se hayan definido como los cargadores de nuestra losa. Las viguetas se colocan de forma manual sobre los muros cargadores. Se debe recordar que las viguetas deben colocarse en el sentido más corto de la luz a cubrir. A partir del muro de arranque se coloca la primera vigueta.

Las viguetas deberán apoyarse sobre los muros o elementos cargadores por lo menos cinco centímetros. Se deben alinear las viguetas. Para esto se colocan bovedillas en los extremos de las viguetas para obtener la separación correcta de estas, además de facilitar la posterior colocación de las demás bovedillas de forma alineada. Se colocan las bovedillas cuidando que queden bien asentadas y lo más juntas posible. La colocación también se hace de forma manual.

Después de que las bovedillas han quedado en su lugar, se colocan las mangueras para la instalación eléctrica. Estas se ponen sobre los muros y por los huecos de las bovedillas. Donde se requiera una salida para un foco se retira esa bovedilla, se pone la instalación para la salida del foco, por debajo se pone una cimbra y después se refuerza con unas pequeñas varillas o con malla el hueco y luego simplemente se le pone su colado de concreto. Así también se llevan a cabo las instalaciones hidráulicas y sanitarias que sean necesarias.

Para colocar la electromalla se presenta y corta al tamaño requerido y se amarra con alambre recocido a la varilla superior de las viguetas y a las cadenas de cerramiento.

Colocado de la capa de compresión: se tapan los huecos de las bovedillas de los extremos y/o aquellas que se hayan recortado para ajustar el claro. Se mojan perfectamente las viguetas y bovedillas y se cuela de 3,00 a 5,00 centímetros de concreto según la malla utilizada. Este paso de colado de la capa de compresión (capa de concreto) se debe realizar en una sola operación. Luego se procederá al curado del concreto como se detalló en la sección de losas tradicionales.

4. DISEÑO ESTRUCTURAL DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS

4.1. Diseño estructural de losas

Las losas son elementos estructurales cuya función principal es resistir las cargas gravitacionales a las que se encuentran sometidas, por lo que su diseño debe realizarse en base a normas y códigos que regulen este.

4.1.1. Diseño de una losa para ejemplificar el análisis de costos

Para fines de este trabajo se ejemplificará el diseño de losa con las mismas dimensiones para los cuatro tipos de losas analizadas, estas son tradicional, prefabricada, losa-acero y madera, con base a un ambiente de casa habitación.

4.1.1.1. Diseño de losa tradicional

Diseño basado en el capítulo 8 del ACI

$$\textit{Dimensiones de losa} = 2,25 \textit{ m} * 4,75 \textit{ m}$$

$$\textit{Resistencia } f'c = 4\ 000 \textit{ psi}$$

$$\textit{Resistencia } fy = 60\ 000 \textit{ psi}$$

Cargas del sistema:

$$CV = \left(100 \frac{lb}{pie^2}\right) (At)$$

$$At = 1 \text{ pie}$$

$$CV = \left(100 \frac{lb}{pie^2}\right) (1 \text{ pie}) = 100 \frac{lb}{pie}$$

$$CM = \left(150 \frac{lb}{pie^3}\right) (\text{espesor})(At)$$

$$\text{espesor} = \frac{(2,25 * 2) + (4,75 * 2)}{180} \cong 0,10 \text{ m} \cong 0,328 \text{ pies}$$

$$CM = \left(150 \frac{lb}{pie^3}\right) (0,328 \text{ pie})(1 \text{ pie}) = 49,2 \frac{lb}{pie}$$

$$CU = 1,2 (49,2) + 1,6 (100)$$

$$CU = 219,04 \frac{lb}{pie}$$

Momentos actuantes:

$$M(+)= \frac{\left(219,04 \frac{lb}{pie}\right) * (7,38 \text{ pie})^2}{16} = 745,62 \text{ lb} * \text{pie}$$

$$M(-)= \frac{\left(219,04 \frac{lb}{pie}\right) * (7,38 \text{ pie})^2}{24} = 497,08 \text{ lb} * \text{pie}$$

Cuantía de acero:

$$\rho b = 0,014253$$

$$Mu = \phi * \rho b * fy * b * d^2 * \left(1 - 0,59 * \frac{\rho b * fy}{f'c}\right)$$

$$d = \sqrt{\frac{745,62 * 12}{0,90 * 0,014253 * 60\,000 * 12 * \left(1 - \frac{0,59(0,014253 * 60\,000)}{4\,000}\right)}}$$

$$d = 1,05 \text{ pulg}$$

Como en el ACI se recomienda un recubrimiento mínimo de 1,5 pulg

$$\text{Entonces } d = 3,94 - 1,50 = 2,44 \text{ pulg}$$

Determinar área de acero para momento positivo, como sigue en tabla V:

Tabla V. **Iteración para determinar área de acero requerida**

$\frac{As \text{ (pulg}^2\text{)}}{MU}$	$a \text{ (pulg)}$
$\frac{\phi * fy * (d - \frac{a}{2})}{0,9 * 60\,000 * (2,44 - \frac{1}{2})} = 0,085$	$\frac{As * fy}{0,85 * f'c * b} = 1$
$\frac{8\,947,44}{0,9 * 60\,000 * (2,44 - \frac{1}{2})} = 0,085$	$\frac{0,085 * 60\,000}{0,85 * 4\,000 * 12} = 0,125$
$\frac{8\,947,44}{0,9 * 60\,000 * (2,44 - \frac{0,125}{2})} = 0,0697$	$\frac{0,0697 * 60\,000}{0,85 * 4\,000 * 12} = 0,1025$
$\frac{8\,947,44}{0,9 * 60\,000 * (2,44 - \frac{0,1025}{2})} = 0,0694$	$\frac{0,0694 * 60\,000}{0,85 * 4\,000 * 12} = 0,102$

Fuente: elaboración propia.

Entonces para $M(+)$ = $745,62 \frac{lb}{pie}$, $As = 0,07 \text{ pulg}^2$

Ahora para $M(-)$ = $497,08 \frac{lb}{pie}$, se tiene que el área de acero es:

$$As = \frac{497,08 * 12}{0,9 * 60\ 000 * \left(2,44 - \frac{0,102}{2}\right)} = 0,05 \text{ pulg}^2$$

Chequeos:

$$As_{max} = \rho b * b * d$$

$$As_{max} = 0,014253 * 12 * 2,44 = 0,42 \text{ pulg}^2$$

$$As_{min} = \frac{3\sqrt{f'c} * b * d}{fy} \geq \frac{200}{fy} * b * d$$

$$\frac{3\sqrt{4\ 000} * 12 * 2,44}{60\ 000} \geq \frac{200}{60\ 000} * 12 * 2,44$$

$$0,09 \text{ pulg}^2 \geq 0,098 \text{ pulg}^2$$

Entonces $As_{min} = 0,10 \text{ pulg}^2$

Ya que el rango de área de acero calculado varía entre 0,42 a 0,10 pulg², se usará $As = 0,22 \text{ pulg}^2$ y si se tiene que la varilla de hierro No. 3 tiene un área de acero igual a 0,11 pulg², se usarán 2 varillas No. 3 para cubrir la demanda de acero por cada pie de longitud.

Espaciamientos:

$$Espmin = d = 2,44 \text{ pulg}$$

$$Espmax = 3 * h = 3 * 3,94 = 11,82 \text{ pulg}$$

Área de acero de retracción por cada pie representativo:

$$\rho = 0,0018$$

$$As = \rho * b * d$$

$$As = 0,0018 * 12 * 3,94$$

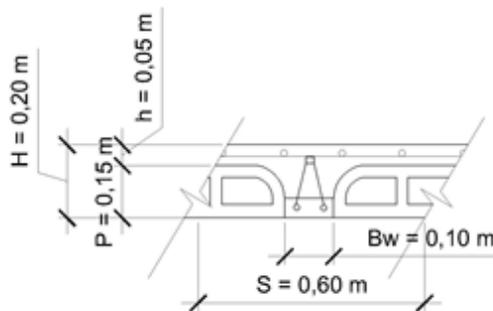
$$As = 0,085 \text{ pulg}^2$$

$$Usar Asmin = 0,10 \text{ pulg}^2$$

Con una varilla de acero No. 3 se cubre la demanda de acero de retracción por cada pie de longitud en la losa. En la figura 22 se presenta el armado de la losa tradicional.

$$\text{Espesor concreto} = \frac{S}{12} = \frac{60}{12} = 5 \text{ cm}$$

Figura 23. Sección típica de losa prefabricada



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

Integración de cargas:

$$CV = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,60 \text{ m} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$CM = \text{Carga losa} + \text{sobre carga} + \text{carga bovedilla} + \text{Carga vigueta}$

$$\text{Carga losa} = 2400 * 0,60 * 0,05 = 72 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Sobre carga} = 100 * 0,60 = 60 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\text{Carga bovedilla} = 19 \frac{\text{kg}}{\text{U}} * \frac{5\text{U}}{1\text{m}} = 95 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$Carga\ viga = 2\ 400 * 0,05 * 2,25 = 270 \frac{kg}{m}$$

$$CM = 497 \frac{kg}{m}$$

$$CU = 1,2 (497) + 1,6(120) = 788,40 \frac{kg}{m}$$

Según ACI para vigas simplemente apoyadas, se tiene:

$$MU(+) = \frac{788,40 * 2,25^2}{8} = 498,91\ kg * m$$

$$MU(-) = \frac{788,40 * 2,25^2}{12} = 332,61\ kg * m$$

Cálculo acero refuerzo:

$$MU = As * \phi * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$As(MU(+)) = \frac{498,91}{0,90 * 4\ 200 * 100^2 * \left(0,10 - \frac{0,0254}{2}\right)}$$

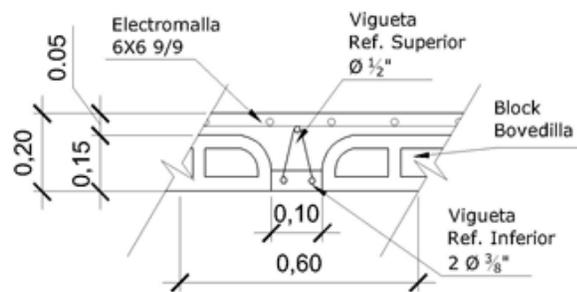
$$As(MU(+)) = 1,51 * 10E - 4\ m^2 \cong 1,51\ cms^2 \cong 0,234\ pulg^2$$

$$As(MU(-)) = \frac{332,61}{0,90 * 4\ 200 * 100^2 * \left(0,10 - \frac{0,0254}{2}\right)}$$

$$As(MU(+)) = 1,00 * 10E - 4\ m^2 \cong 1,00\ cms^2 \cong 0,156\ pulg^2$$

El área de acero para el momento positivo será cubierta con 2 varillas No. 3, mientras que el área de acero para el momento negativo será cubierta con 1 varilla No. 4. En la figura 24 es posible observar el detalle final de esta losa.

Figura 24. **Detalle de losa prefabricada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

El block bovedilla a utilizarse es de 55 cm de largo * 24 cm de ancho * 15 cm de peralte, y se utilizarán paraleles al centro de las viguetas para rigidizar estas al momento de montar la estructura.

4.1.1.3. **Diseño de losa-acero**

*Dimensiones de losa = 2,25 m * 4,75 m*

Cargas que actúan sobre la losa-acero:

$$\text{Peso concreto} = 2\,400 * 0,05 = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga de construcción} = 100 \frac{kg}{m^2}$$

$$CV = 200 \frac{kg}{m^2}$$

$$CU = 1,2 * (320) + 1,6 * (200)$$

$$CU = 584 \frac{kg}{m^2}$$

Figura 25. **Sobrecargas permisibles según calibre de losa-acero**

Losa-acero Sección 4 Sobrecarga admisible (kg/m2)															
Sin conectores	Calibre	Espesor de concreto (cm)	Separación entre apoyos (m)												
			1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4
Sin conectores	24	5	1537	1313	984	741	556	412	298	206	130				
		6	1653	1429	1058	783	574	411	282	178					
		8	1842	1640	1179	838	579	337	217						
		10	2000	1812	1257	847	535	292	100						
		12	2000	1937	1286	805	439	154							
	22	5	2000	1533	1126	1044	815	637	496	382	289	211	146		
		6	2000	1653	1194	1129	871	670	510	381	276	189	116		
		8	2000	1858	1698	1277	857	707	510	350	219	111			
		10	2000	2000	1895	1388	1003	703	465	273	116				
		12	2000	2000	2000	1456	1003	652	372	147					
	20	5	2000	2008	1474	1120	851	845	679	544	435	343	267	203	147
		6	2000	2008	1591	1192	888	907	720	568	444	342	255	183	
		8	2000	2008	1791	1300	1304	1011	778	591	437	310	203	113	
		10	2000	2008	2000	1886	1432	1079	799	514	389	176			
		12	2000	2008	2000	2000	1521	1107	778	513	296	116			
	18	5	2000	2000	2000	1657	1305	1032	815	835	692	574	474	390	318
		6	2000	2000	2000	1803	1407	1098	853	900	739	605	492	397	316
		8	2000	2000	2000	2000	1582	1198	1258	1012	811	645	506	388	287
		10	2000	2000	2000	2000	1707	1755	1388	1093	851	650	482	340	218
		12	2000	2000	2000	2000	2000	1914	1483	1135	851	615	417	249	107

Fuente: IMSA, Manual losa-acero sección 4.

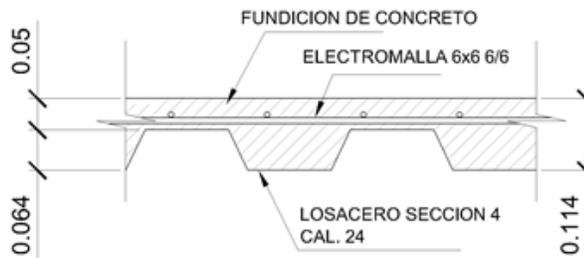
Figura 26. **Máximos claros sin apuntalamiento en losa-acero**

Losa-acero Sección 4, Claros Máximos Sin Apuntalamiento		Espesor de Concreto				
CALIBRE	APOYO	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm
24		1.77	1.70	1.59	1.50	1.42
		2.38	2.29	2.15	2.03	1.93
		2.41	2.32	2.17	2.05	1.95
22		2.12	2.04	1.90	1.79	1.69
		2.83	2.73	2.55	2.40	2.28
		2.91	2.80	2.61	2.46	2.33
20		2.46	2.36	2.19	2.06	1.95
		3.20	3.08	2.89	2.72	2.58
		3.31	3.19	2.98	2.81	2.76
18		3.00	2.87	2.67	2.50	2.36
		3.85	3.71	3.48	3.28	3.11
		3.98	3.84	3.59	3.39	3.22

Fuente: IMSA, Manual losa-acero sección 4.

Con las características detalladas en las figuras 25 y 26 y con el valor calculado de la carga que debe resistir la losa-acero, se ha determinado que la lámina adecuada para nuestros requisitos es lámina losa-acero sección 4 y calibre 22, como se presenta en la figura 27.

Figura 27. **Detalle de losa-acero**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

4.1.1.4. Diseño de losa de madera

*Dimensiones de losa = 2,25 m * 4,75 m*

Diseño en base a las normas ASTM D-198-84

Carga a considerar = 200 lbs/pie

Predimensionar:

$$L = 17 h$$

$$h = \frac{L}{17} = \frac{4,75 \text{ m} * 3,28 \text{ pies}}{17} = 0,92 \cong 0,95 \text{ pies}$$

y se tiene que:

$$b = \frac{h}{2} = \frac{0,95}{2} = 0,475 \text{ pies}$$

Volumen de la viga:

$$Vol = 0,95 * 0,475 * 15,58 = 7,03 \text{ pies}^3$$

Si tenemos que 1 pie³ de madera pesa 50 lb, entonces:

$$7,03 \text{ pies}^3 = 351,51 \text{ lb}$$

Este peso en pie lineal es igual a:

$$\frac{351,51 \text{ lb}}{15,58 \text{ pies}} = 22,56 \frac{\text{lb}}{\text{pies}}$$

$$Wt = 200 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} + 22,56 \frac{\text{lb}}{\text{pies}} = 222,56 \text{ lb/pie}$$

Tabla VI. **Valores de diseño según grado estructural de madera**

Grado Estructural	Flexión Fb		Corte Fc		Deflexión Em	
	kg/cm ²	PSI	kg/cm ²	PSI	kg/cm ²	PSI
1	280	4 000	36,1	500	1,41E05	2,02E06
2	150	2 100	26,5	375	1,21E05	1,77E06
3	60	850	17,4	245	0,93E05	1,32E06

Fuente: elaboración propia.

Con los valores de la tabla VI se procede a realizar los chequeos necesarios.

- Primer chequeo: flexión.

$$Fb = \frac{MC}{I}$$

$$Fb = \frac{6M}{bh^2}$$

$$M = \frac{wl^2}{8} = \frac{(222,56) * (15,58)^2}{8} = 6\,752,93 \text{ lb} * \text{pie} \cong 81\,035,12 \text{ lb} * \text{pulg}$$

Si se tiene que el F_b para madera grado estructural 1 es igual a 4 000 lb/plg² y que $h = 2b$:

$$b(2b)^2 = \frac{6 * 81\,035,12}{4\,000}$$

$$b = 3,12 \text{ pulg} \cong 3,50 \text{ pulg}$$

$$h = 2 * b = 2 * 3,50 = 7,00 \text{ pulg}$$

- Segundo chequeo: corte

$$F_c = 1,50 * \frac{V}{A}$$

Si se tiene que el F_c para madera grado estructural 1 es igual a 500 lbs/pulg² y que $h = 2b$:

$$V = \frac{wl}{2} = \frac{(222,56) * (15,58)}{2} = 1\,733,74 \text{ lb}$$

$$b(2b) = \frac{1,5 * 1\,733,74}{500}$$

$$b = 1,61 \cong 2,00 \text{ pulg}$$

$$h = 2 * b = 2 * 2,00 = 4,00 \text{ pulg}$$

- Tercer chequeo: deflexión

$$\Delta = \frac{C * WL^4}{E * I}$$

Si se tiene que C debe ser igual a 5/384 por la forma de apoyo de las vigas, que Δ debe ser como mínimo L/360 y que E para madera grado estructural 1 es igual a 2,02 E6 lb/pulg², entonces:

$$\frac{L}{360} = \frac{C * WL^4}{E * \left(\frac{bh^3}{12}\right)}$$

$$Ebh^3 = 4\,320 * \frac{5}{384} * 22,56 * 15,58^3$$

$$Ebh^3 = 47\,344\,768,73 \text{ lb} * \text{pie}^2 \cong 6\,817\,646\,697,00 \text{ lb} * \text{pulg}^2$$

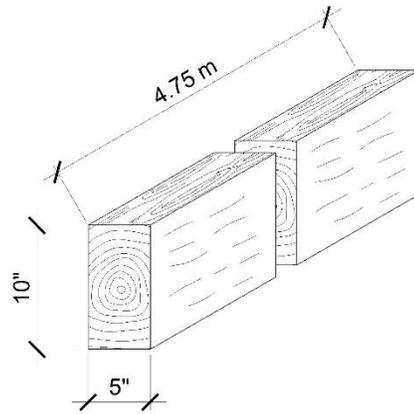
$$b * (2b)^3 = \frac{6\,817\,646\,697,00 \text{ lb} * \text{pulg}^2}{2,02E6 \text{ lb/pulg}^2}$$

$$b = 4,53 \cong 5 \text{ pulg}$$

$$h = 2 * b = 2 * 5 = 10 \text{ pulg}$$

Entonces la sección a utilizar para las vigas de madera es la obtenida por el chequeo de deflexión por ser la sección crítica: 5 pulg * 10 pulg, como se puede observar en la figura 28. Se espaciarán las vigas a 0,75 metros y la madera a utilizar para la cubierta será tipo machimbre con dimensiones de 1 pulg * 12 pulg.

Figura 28. **Sección vigas de madera**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD.

5. ANÁLISIS BENEFICIO / COSTO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS ANALIZADOS

5.1. Análisis beneficio/costo sobre la losa ejemplificada

El análisis beneficio/costo es un método para evaluación de alternativas que se utiliza principalmente en el sector público, aunque también puede utilizarse en el sector privado. Si el caso es sector público debe estimarse un número de beneficiarios a través de un análisis de razonabilidad para determinar qué tan razonable es la inversión en relación del número de beneficiarios finales.

Si el caso en donde se utiliza es el sector privado se debe estimar el costo y beneficio monetario de cada alternativa y a partir de estas se analizará la mejor de ellas, recordando que este sector busca generar la máxima ganancia.

Regularmente se utiliza la relación beneficio/costo incremental, la cual estima como buena opción aquella donde se utilizan el menor número de recursos teniendo como resultado un mayor número de beneficiarios, o bien, el menor número de costos, según sea el caso. Un factor importante de este tipo de análisis es que con este se pueden comparar las alternativas entre ellas.

5.1.1. Integración de costos

Para realizar la integración de costos se cuantificaron los materiales que en cada sistema de losa cubrían sus características y especificaciones, según

lo detallado en los capítulos 3 y 4 del presente trabajo. Esta integración de costos es presentada en las tablas VII, VIII, IX y X.

Es importante resaltar que en la integración del renglón de material y herramienta los precios unitarios se ingresaron según cotizaciones realizadas que proporcionaban estos con el Impuesto al Valor Agregado – IVA ya incluido, pero en la casilla total de materiales sin IVA estos son presentados sin este impuesto para obtener su precio libre de este y en la casilla final de total + IVA se presenta el costo de cada losa, obtenido de la sumatoria de precios más su respectivo IVA.

5.1.1.1. Losa tradicional

Para realizar la integración de costos de una losa tradicional es necesario cuantificar los volúmenes de trabajo, seguidamente la cantidad de materiales. Una vez obtenidas estas cantidades es posible realizar la integración de precios unitarios, para obtener así el costo de la losa.

Tabla VII. Integración de costos de losa tradicional

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
1. Losa Tradicional	m2	10,69	Q 761,74	Q 8 142,98
Material y Herramienta				
Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Cemento UGC 4 000 PSI	Sacos	11,00	Q 62,81	Q 690,91
Arena Río	m3	1,00	Q 71,43	Q 71,43
Piedrín 3/8	m3	1,00	Q 165,18	Q 165,18
Hierro legítimo No. 3	qq	3,50	Q 327,73	Q 1 147,06
Alambre de Amarre	libras	7,00	Q 4,03	Q 28,21
Clavos 2"	libras	7,00	Q 4,93	Q 34,51
Paral 4"x4"	pie-tabla	185,00	Q 5,75	Q 1 063,75
Madera de pino 1"x12"	pie-tabla	125,00	Q 5,75	Q 718,75
Total de materiales sin IVA				Q 3 499,82
Mano de Obra				
Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q1 399,93	Q 1 399,93
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 419,98	Q 419,98
Sub-total mano de obra				Q 1 819,90
Prestaciones	%	15,00%		Q 272,99
Total mano de obra				Q 2 092,89
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 5 592,71
Resumen				
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 5 592,71
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):			30,00%	Q 1 677,81
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):				Q 7 270,52
TOTAL + IVA				Q 8 142,98

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Losa prefabricada

Para obtener el costo de la losa prefabricada se debe realizar la cuantificación de volúmenes de trabajo y cantidad de materiales, para luego a través de cotizaciones generar los precios unitarios de estas cantidades y poder integrar estos.

Tabla VIII. Integración de costos de losa prefabricada

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
2. Losa Prefabricada	m2	10,69	Q 616,34	Q 6 588,64
Material y Herramienta				
Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Viguetas de 4,90 m x 0,15 m	Unid	7,00	Q 225,89	Q 1 581,23
Block Bovedilla 55X24X15	Unid	88,00	Q 4,25	Q 374,00
Electromalla 6X6 9/9	Unid	1,00	Q 141,31	Q 141,31
Cemento UGC 4,000 PSI	Sacos	6,00	Q 62,81	Q 376,86
Arena Río	m3	0,50	Q 71,43	Q 35,72
Piedrín 3/8	m3	0,50	Q 71,43	Q 35,72
Paral 4" X 4"	pie-tabla	109,00	Q 5,75	Q 626,75
Total de materiales sin IVA				Q 2 831,77
Mano de Obra				
Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 1 132,71	Q 1 132,71
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 339,81	Q 339,81
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 1 472,52
Prestaciones	%	15,00%		Q 220,88
Total mano de obra				Q 1 693,40

Continuación de la tabla VIII.

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 4 525,17
Resumen		
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 4 525,17
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):	30,00%	Q 1 357,55
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):		Q 5 882,71
TOTAL + IVA		Q 6 588,64

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.3. Losa – acero

Al integrar los costos de una losa – acero se deben cuantificar cada uno de los materiales necesarios para su estructura y cotizar con proveedores de calidad el precio de estos, al ser una estructura de cuidado en sus elementos.

Tabla IX. Integración de costos de losa – acero

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
3. Losa - acero	m2	10,69	Q 499,64	Q 5 341,11

Material y Herramienta

Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Lámina losa-acero cal22 sec4	Unid	3,00	Q 439,30	Q 1 317,90
Electromalla 6X6 6/6	Unid	1,00	Q 226,18	Q 226,18
Cemento UGC 4 000 PSI	Sacos	6,00	Q 62,81	Q 376,86
Arena Río	m3	0,50	Q 71,43	Q 35,72
Piedrín 3/8	m3	0,50	Q 165,18	Q 82,59
Perno de anclaje 5/8X4" galv	Unid	57,00	Q 9,33	Q 531,81
Total de materiales sin IVA				Q 2 295,58

Continuación de la tabla IX.

Mano de Obra				
Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 918,23	Q 918,23
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 275,47	Q 275,47
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 1 193,70
Prestaciones	%	15,00%		Q 179,06
Total mano de obra				Q 1 372,76
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 3 668,34
Resumen				
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 3 668,34
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):			30,00%	Q 1 100,50
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):				Q 4 768,85
TOTAL + IVA				Q 5 341,11

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.4. Losa de madera

Los costos de una losa a base de elementos de madera dependerán de la madera seleccionada y la calidad de tratamiento que se le haya brindado, por lo que se debe ser riguroso en la selección de esta para garantizar su vida útil y el buen funcionamiento que proporcionará.

Tabla X. Integración de costos de losa de madera

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
4. Losa de Madera	m2	10,69	Q 735,45	Q 7 861,92
Material y Herramienta				
Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Vigas sección 5" X 10"	pie-tabla	275,00	Q 9,38	Q 2 579,50
Madera machihembrada 30"	pie-tabla	125,00	Q 9,38	Q 1 172,50
Tornillo negro c/plana 8"X2"	Unid	130,00	Q 0,25	Q 32,50
Total de materiales sin IVA				Q 3 379,02
Mano de Obra				
Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 1 351,61	Q 1 351,61
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 405,48	Q 405,48
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 1 757,09
Prestaciones	%	15,00%		Q 263,56
Total mano de obra				Q 2 020,65
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 5 399,67
Resumen				
Total Costo Directo (materiales + mano de obra):				Q 5 399,67
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):			30,00%	Q 1 619,90
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):				Q 7 019,57
TOTAL + IVA				Q 7 861,92

Fuente: elaboración propia.

5.2. Comparación de ventajas y desventajas técnicas y económicas

Cada uno de los cuatro sistemas constructivos analizados posee diversas ventajas sobre los otros tres sistemas constructivos, así como también sus desventajas. Claro ejemplo de esto es que algunos sistemas necesitan invertir en acabados finales para la estética interior y protección exterior de su estructura, otros por ejemplo, necesitan químicos y tratamientos especiales para asegurar su vida útil.

Estas ventajas y desventajas serán entonces las claves que permitan determinar qué sistema o método constructivo se adapta a la economía del país.

5.2.1. Determinación de parámetros de comparación

Para realizar el análisis beneficio / costo de un sistema constructivo debemos tener claro los parámetros que debemos comparar, ya que con estos obtendremos los resultados requeridos por el análisis.

Como se comentó, las ventajas y desventajas de cada sistema serán las claves que permitan analizar cada uno de estos. Para poder ejecutar esto se determinó que para las ventajas de cada sistema constructivo se tomará los acabados que no necesita y que los demás sistemas si necesitan para su estética y protección, y como desventajas se analizarán los costos de cada sistema de construcción. La integración de costos para estos acabados se presenta en las tablas XI, XII, XIII y XIV.

Tabla XI. Integración de costos de acabados internos necesarios en losas tradicionales y prefabricadas

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Acabados internos de cielo	m2	10,69	Q 68,12	Q 728,24

Material y Herramienta

Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Cemento UGC 4 000 PSI	Sacos	3,00	Q 62,81	Q 188,43
Arena blanca cernida	m3	0,43	Q 185,40	Q 79,72
Cal hidratada horcalsa	Sacos	2,00	Q 28,84	Q 57,68
Arena amarilla cernida	m3	0,10	Q 175,80	Q 17,58
Arena río	m3	0,10	Q 71,43	Q 7,14
Total de materiales sin IVA				Q 313,00

Mano de Obra

Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 125,20	Q 125,20
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 37,56	Q 37,56
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 162,76
Prestaciones	%	15,00%		Q 24,41
Total mano de obra				Q 187,17

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 500,17
--	--	----------

Resumen

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 500,17
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):	30,00%	Q 150,05
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):		Q 650,22
TOTAL + IVA		Q 728,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Integración de costos de acabados externos en losas tradicionales, prefabricadas y losa – acero

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Acabados terraza	m2	10,69	Q 52,36	Q 559,76

Material y Herramienta

Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Cemento UGC 4 000 PSI	Sacos	2,00	Q 62,81	Q 125,62
Cal hidratada horcalsa	Sacos	4,00	Q 28,84	Q 115,36
Arena blanca cernida	m3	0,10	Q 185,40	Q 18,54
Arena río cernida	m3	0,05	Q 198,60	Q 9,93
Total de materiales sin IVA				Q 240,58

Mano de Obra

Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 96,23	Q 96,23
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 28,87	Q 28,87
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 125,10
Prestaciones	%	15,00%		Q 18,77
Total mano de obra				Q 143,87

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 384,45
--	--	----------

Resumen

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 384,45
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):	30,00%	Q 115,33
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):		Q 499,78
TOTAL + IVA		Q 559,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Integración de costos de cielo falso necesario para losa – acero

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Cielo falso	ml	10,69	Q 47,09	Q 503,35

Material y Herramienta

Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Planca duroport 1,22X2,44 m	Unid	4,00	Q 41,30	Q 165,20
Angular 3/4" X 3/4" X 3/16"	Unid	4,00	Q 10,05	Q 40,20
Tee esmaltada 3/4" X 12'	Unid	2,00	Q 18,45	Q 36,90
Total de materiales sin IVA				Q 216,34

Mano de Obra

Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 86,54	Q 86,54
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 25,96	Q 25,96
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 112,50
Prestaciones	%	15,00%		Q 16,87
Total mano de obra				Q 129,37

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 345,71
--	--	----------

Resumen

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 345,71
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):	30,00%	Q 103,71
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):		Q 449,42
TOTAL + IVA		Q 503,35

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Integración de costos de acabados para madera

Descripción Renglón	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Acabados para madera	m2	10,69	Q 94,65	Q 1 011,80

Material y Herramienta

Descripción Insumo	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Tinte de aceite p/techo madera	galón	1,00	Q 272,32	Q 272,32
Barniz opaco	galón	1,00	Q 214,73	Q 214,73
Total de materiales sin IVA				Q 434,87

Mano de Obra

Descripción Actividad	Unid	Cantidad	Precio Unitario	Total
Mano de obra calificada	%	40,00%	Q 173,95	Q 173,95
Mano de obra No calificada	%	30,00%	Q 52,18	Q 52,18
SUB-TOTAL MANO DE OBRA				Q 226,13
Prestaciones	%	15,00%		Q 33,92
Total mano de obra				Q 260,05

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 694,92
--	--	----------

Resumen

Total Costo Directo (materiales + mano de obra):		Q 694,92
Total Costo Indirecto (administrativos + utilidad):	30,00%	Q 208,47
SUB-TOTAL (suma de directos + indirectos):		Q 903,39
TOTAL + IVA		Q 1 011,80

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Evaluación y determinación de factores técnico económicos de cada método constructivo analizado

Se procede a evaluar cada método constructivo analizado en el presente trabajo de acuerdo al análisis beneficio / costo, como se observa en la tabla XV.

Tabla XV. **Análisis beneficio / costo de cada sistema constructivo analizado**

Análisis Beneficio / Costo			
Tipo de Losa	Costo	Beneficio	Beneficio/costo
Losa Tradicional	Q 8 142,98	Q 1 515,15	0,19
Losa Prefabricada	Q 6 588,64	Q 1 515,15	0,23
Losa - acero	Q 5 341,11	Q 1 740,04	0,33
Losa de Madera	Q 7 861,92	Q 1 791,35	0,23

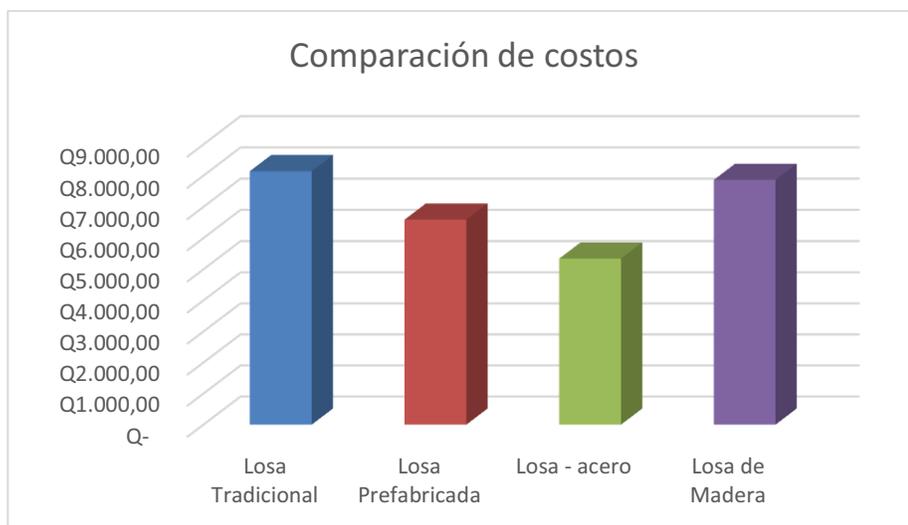
Fuente: elaboración propia.

Interpretación: con la tabla XV se puede deducir que la losa – acero proporciona un porcentaje mayor de beneficio / costo en relación a los demás sistemas constructivos, otorgándole preferencia para su elección en el momento de construcción.

Se puede observar que el beneficio de la losa tradicional y prefabricada es el mismo, esto por el hecho que ambas losas carecen de tratamientos, cuidados o acabados similares, brindando al cliente las mismas características en su construcción, pero de manera notoria se puede ver que la losa tradicional presenta un costo mayor que el de la prefabricada, razón por la que en la relación beneficio / costo esta proporciona un porcentaje menor.

Se presenta la figura 29 para dar una idea más precisa de los costos que requiere cada método constructivo y su comparación contra los demás métodos.

Figura 29. **Comparación de costos de cada sistema constructivo analizado**



Fuente: elaboración propia.

Para poder llegar a un análisis profundo se deben tomar en cuenta cada método contrastándolo con los otros métodos haciendo la comparación a través de un análisis beneficio / costo incremental, presentado en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Análisis beneficio / costo incremental de cada sistema constructivo analizado**

Análisis Beneficio / Costo Incremental								
No.	Opción	Costo	Beneficio	Diferencia	ΔB	ΔC	$\Delta B/\Delta C$	Mejor opción
1	Losa - acero	Q 5 341,11	Q 1 740,04	1 <u>vrs</u> 2	Q (224,89)	Q 1 247,53	-0,18	1
2	Losa Prefabricada	Q 6 588,64	Q 1 515,15	1 <u>vrs</u> 3	Q 51,31	Q 2 520,81	0,02	1
3	Losa de Madera	Q 7 861,92	Q 1 791,35	1 <u>vrs</u> 4	Q (224,89)	Q 2 801,87	-0,08	1
4	Losa Tradicional	Q 8 142,98	Q 1 515,15					

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Dada la variabilidad climática de zona en zona en el país, es frecuente encontrar distintos tipos de losas en áreas aledañas, recalcando que el fin primordial es que esta resista las cargas gravitacionales y nos proteja de la intemperie, por lo que debemos tomar en cuenta la intensidad de lluvia, velocidad del viento, humedad e intensidad solar para la selección de un sistema constructivo de losa en cada área.
2. En Guatemala se tiene variedad de sistemas constructivos de losas, habiendo determinado que la elección de uno en particular dependerá de la economía del propietario, situación que determina que en las áreas rurales sea frecuente encontrar losas a base de elementos de madera y cielo de teja o lámina, en tanto en las áreas urbanas predomina el uso de losa tradicional.
3. Siendo la rapidez un factor que los propietarios exigen para la ejecución de sus proyectos, se debe tomar en cuenta que una losa tradicional es la que más tiempo lleva para su construcción por la elaboración que cada uno de sus elementos requiere en obra, mientras que la losa – acero se convierte en la opción con más rapidez y sencillez para su instalación al contar con la lámina acanalada como elemento esencial de su estructura y de fácil acceso a su compra, por su bajo costo.

4. Luego de realizar el análisis beneficio/costo de cada sistema constructivo de losa estudiado, observamos que la losa – acero proporciona para el cliente el menor costo en cuanto a materiales y mano de obra, obteniendo el mejor índice en el análisis gracias a su facilidad de ejecución, cantidad de materiales y costo en el mercado de los mismos.

5. Con el análisis beneficio/costo incremental se aseveró que la mejor opción entre las analizadas es la losa – acero al ser comparada contra las demás opciones y prevalecer con el mejor índice económico sobre las restantes.

RECOMENDACIONES

1. Es importante realizar una investigación de la intensidad de lluvia, la humedad, la velocidad del viento y la incidencia solar del área donde se desee edificar una estructura para determinar una losa cuyas propiedades y características se adapten a estos elementos climáticos y resista los mismos.
2. Aun cuando la economía es el factor determinante en la selección del tipo de losa a ejecutar, es importante construirla utilizando los materiales adecuados para evitar que este no soporte las cargas a las que se someterá y deber invertirse en su reparación o construcción de nueva cuenta.
3. A pesar que los propietarios exigen una obra ejecutada a la brevedad, no se debe pasar por alto que cada elemento estructural requiere diferentes pasos para su buen manejo, transporte e instalación, por lo que debemos respetar las normas y especificaciones que nos indiquen como realizar cada una de estas acciones, para conseguir una losa bien ejecutada.
4. Para obtener una losa con costo bajo deben realizarse varias cotizaciones en el mercado, por su variación de precios de distribuidora en distribuidora.

5. Es importante aplicar los acabados que cada sistema de losa necesita para asegurar su adecuado funcionamiento, estética y durabilidad.
6. Como segunda opción se debe tomar el tipo de losa prefabricada ya que con su menor costo se obtienen los mismos beneficios con relación a una losa tradicional.
7. Como tercera opción se opta por la losa prefabricada ya que teniendo el mismo beneficio/costo con el sistema de losa de madera, su costo es menor.
8. En adquisiciones cuando se aplique la Ley de Contrataciones del Estado; se debe ser riguroso en cuanto a la asignación de oferentes de productos por el sistema de Cotización y Licitación, velando por la calidad y un costo significativo, que repercuta en diseños constructivos que cumplan con la vida útil de los proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACESCO. *Metaldeck Grado 40. Manual de Instalación*. Colombia: 2012. 40 p.
2. American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Versión en español: ACI 318S-08, 2008. 518 p.
3. Anippac, Instituto de Ingeniería. *Estructuración con Elementos prefabricados*. México: Anippac 2005. 59 p.
4. ARANA ARCHILA, Nestor Ivan. *Techos de madera, proceso de ejecución constructiva de artesones, terraza española y pérgolas*. Proyecto de graduación de Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2007. 161 p.
5. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala. Guatemala: AGIES NR-1 2000, NR-2 2000, 2002. 45 p.
6. CARAÑO, Rómel; SOLÍS MORENO, Eric L. *Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo*. México, 2005. 17 p.
7. FREDERICK S. Merrit. *Manual del ingeniero civil*. 3a ed. McGraw-Hill, 1992, 165 p.

8. HERNÁNDEZ, Luis Felipe. *Medio ambiente y arquitectura*. Trabajo de graduación de Arquitecto. Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Arquitectura, 2001. 148 p.
9. *Industrial Manufacturing and Processing S.A. (IMSA)*. Losacero Sección 4 y Sección 36/15. 2ª. Edición. México: IMSA, 2009. 10 p.
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Informe Ambiental del Estado de Guatemala: MARN, 2009. 285 p. ISBN: 978-9929-8010-7-3.
11. MORENO CUARA, Gonzalo. *Análisis y diseño de una vivienda con sistema de piso de vigueta y bovedilla*. Tesina de graduación de Ing. Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil, 2010. 94 p.
12. NILSON, Arthur H. *Diseño de estructuras de concreto*. Colombia: McGraw-Hill, 1997. 210 p.
13. PEÑALOZA, Ricardo Molina. *Utilización eficiente de madera machihembrada para techos*. Caracas, Venezuela, 2007. 123 p. ISSN: 0798-9601. Vol.23 no. 1
14. PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. *Opciones de techos para viviendas en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 196 p.
15. ROSALES VELIZ, Julio César. *Análisis comparativo de costos entre sistemas de losas prefabricadas vigueta y bovedilla, losa densa y*

losa – acero. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 95 p.

16. SANTANA, Guillermo. *Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la República de Guatemala*. Guatemala: Evaluación de Código Sísmico, 1996. 13 p.
17. Ternium. *Manual de Instalación Ternium Losacero*. México: Ternium 2010. 38 p.

