



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CAMPUS I**

**“IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE PLACAS ALVEOLARES PARA  
MUROS DE CONTENCIÓN”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN  
CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA

**HUGO ABRAHAM CRUZ CARBALLO C030032**

DIRECTOR DE TESIS

**MTRO. JORGE ALFREDO AGUILAR CARBONEY**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. FEBRERO 2022.**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.  
23 de febrero de 2022  
Oficio No. F.I.01.304/2022

**C. HUGO ABRAHAM CRUZ CARBALLO**  
**ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA**  
**CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN**  
**P R E S E N T E:**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE PLACAS ALVEOLARES PARA MUROS DE CONTENCIÓN”.**

CERTIFICO el VOTO APROBATORIO emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

**DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGOS**  
**ENCARGADO DE DIRECCIÓN**



**DIRECCIÓN DE LA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería.  
C.c.p. Archivo/minutario  
JAFG/DEC/tpg\*



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

**CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.**

El (la) suscrito (a) Hugo Abraham Cruz Carballo  
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Implementación del uso de  
placas alveolares para muros de contención,"

presentada y aprobada en el año 20 22 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 15 días del mes de Marzo del año 2022.

Hugo Abraham Cruz Carballo  
Nombre y firma del Tesisista o Tesisistas

DEDICADO A:

**MIS PADRES:**

POR HABERME APOYADO  
DURANTE MI FORMACION  
PROFESIONAL.

**MI DIRECTOR DE TESIS:**

MTRO. JORGE ALFREDO AGUILAR  
CARBONEY, QUIÉN ME APOYÓ  
CON SUS CONOCIMIENTOS Y  
OBSERVACIONES DURANTE LA  
REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO  
DE INVESTIGACIÓN.

**MIS COMPAÑEROS:**

AL ING. HERNÁN DE JESÚS  
HERNÁNDEZ VELÁZQUEZ, QUIEN  
ME ACOMPAÑÓ DURANTE LOS 2  
AÑOS DE MAESTRÍA Y CON QUIEN  
COMPARTÍ EL ANHELO DE  
CULMINAR CON ÉXITO ÉSTA  
ETAPA.

A LA ING. MERCEDES GUADALUPE  
CANCINO FLORES, QUIEN ME  
BRINDÓ SU APOYO DURANTE LA  
ELABORACIÓN DE LA TESIS.

## ÍNDICE GENERAL

<b>PROBLEMÁTICA</b> .....	8
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	8
<b>OBJETIVOS</b> .....	9
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	9
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	9
<b>1. ESTADO DEL ARTE</b> .....	11
<b>1.1 MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	11
<b>1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	14
<b>1.3 TIPOLOGÍAS DE MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	15
<b>1.3.1 MUROS CONVENCIONALES</b> .....	16
<b>1.3.2 MUROS DE GRAVEDAD</b> .....	17
<b>1.3.3 MUROS EN CANTILÉVER</b> .....	19
<b>1.3.4 MUROS JAULA</b> .....	20
<b>1.3.4 MUROS DE SEMIGRAVEDAD</b> .....	22
<b>1.3.5 MUROS MÉNSULA Y CON CONTRAFUERTE</b> .....	23
<b>1.3.6 MUROS PREFABRICADOS</b> .....	24
<b>1.4 PLACAS ALVEOLARES PARA MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	25
<b>1.4 FALLAS COMUNES EN LOS MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	31
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	34
<b>2.1 EVOLUCIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PLACA ALVEOLAR</b> .....	34
<b>2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLACAS ALVEOLARES</b> .....	38
<b>2.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS PLACAS ALVEOLARES</b> .....	43
<b>2.4 VENTAJAS DE LAS PLACAS ALVEOLARES</b> .....	44
<b>2.4 PLACAS ALVEOLARES PARA MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	48
<b>3. LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO</b> .....	55
<b>3.1 INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN</b> .....	55
<b>3.2 LA HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN MÉXICO</b> .....	57
<b>3.3 LA ACTUALIDAD DE LOS SISTEMAS PREFABRICADOS EN MÉXICO</b> .....	60
<b>3.4 LAS PLACAS ALVEOLARES EN MÉXICO</b> .....	62

<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	72
<b>4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO</b> .....	73
<b>4.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b> .....	74
<b>4.3 EQUIPO Y PERSONAL NECESARIO</b> .....	74
<b>4.4 COSTOS</b> .....	75
<b>4.5 CONFIGURACIÓN DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	77
<b>5. CONCLUSIÓN</b> .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	90
<b>ANEXO A</b> .....	94
<b>ANEXO B</b> .....	99

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipologías de muros según su funcionalidad: (a) de sostenimiento. ....	14
Figura 2. Diversas tipologías de muros convencionales. ....	17
Figura 3. Muro de gravedad de mampostería. ....	18
Figura 4. Muro en Cantiléver .....	20
Figura 5. Muro de contención tipo cribas. ....	21
Figura 6. Muro de contención de gaviones. ....	21
Figura 7. Muro de contención de escollera. ....	22
Figura 8. Muro de contención tipo ménsula.....	23
Figura 9. Muro de contención con placas alveolares. ....	27
Figura 10. Placas Alveolares en vallados para contención de tierras. ....	30
Figura 11. Sistema estructural precursor de la placa alveolar.....	34
Figura 12. Muros prefabricados.....	36
Figura 13. Placa Alveolar .....	39
Figura 14. Sección trasnversal de una placa alveolar .....	40
Figura 15. Muro con Placas Alveolares en posición vertical .....	51
Figura 16. Vista en planta de un muro vertical .....	51
Figura 17. Muro con Placas Alveolares en posición horizontal .....	52
Figura 18. Vista en planta de un muro horizontal.....	52
Figura 19. Principales características de la construcción convencional frente a la construcción industrializada. ....	57
Figura 20. Torre Altreca, Monterrey, Nuevo León. ....	63
Figura 21. Torre Audire, Guadalajara, Jalisco. ....	63
Figura 22. Estacionamiento La gran villa, Monterrey, Nuevo León. ....	64
Figura 23. Estacionamiento HU, Monterrey, Nuevo León. ....	64

Figura 24. Deportivo del Estado de Guanajuato, León, Guanajuato. .... 65

Figura 25. Estadio Narajeros, Hermosillo, Sonora. .... 65

Figura 26. Bodega de almacenamiento y venta de Productos químicos, León, Guanajuato..... 66

Figura 27. Bodegas Parque La Puerta, Monterrey, Nuevo León..... 66

Figura 28. Centro acuático del Estado de Guanajuato, Guanajuato. .... 67

Figura 29. Centro acuático del Estado de Guanajuato, Guanajuato. .... 67

Figura 30. SEPAL, oficinas administrativas, León, Guanajuato. .... 67

Figura 31. Proyecto Alpino Chipinque, Monterrey, Nuevo León..... 68

Figura 32. Torre Gaia, Monterrey, Nuevo León..... 68

Figura 33. Proyecto Centro City, Guadalajara, Jalisco..... 69

Figura 34. Edificio de Aulas Medicas UANL, Monterrey, Nuevo León..... 69

Figura 35. Edificio de Aulas Instituto Politécnico Nacional Reynosa, Tamaulipas. 70

Figura 36. Estructura de retención de agua. .... 70

Figura 37. Muro de Contención de Concreto ..... 78

Figura 38. Muro de Contención de Mampostería ..... 79

Figura 39. Muro de Contención de Block. .... 80

Figura 40. Muro de Contención con Placas Alveolares..... 82

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Especificaciones de las Placas Alveolares como muros de contención.. 50

Tabla 2. Apoyos Mínimos..... 50

Tabla 3. Costos de un muro de contención de Concreto. .... 94

Tabla 4. Costos de un muro de contención de Mampostería. .... 96

Tabla 5. Costos de un muro de contención de Block. .... 96

Tabla 6. Costos para el Muro de Placas Alveolares..... 98

Tabla 7. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Concreto armado. .... 99

Tabla 8. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Mampostería..... 99

Tabla 9. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Block. .... 99

**ÍNDICE DE GRÁFICAS**

Gráfica 1. Comparativa de Costos ..... 83

Gráfica 2. Comparación de Tiempos de Construcción. .... 84

Gráfica 3. Costo-Tiempo ..... 88

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre siempre ha buscado de una u otra forma la optimización de recursos tanto materiales como mano de obra, para lo cual se han implementado diferentes procesos constructivos. Uno de los cuales es por medio de la prefabricación de elementos.

Es cierto que se tenía conocimiento de la prefabricación desde tiempo atrás, pero fue hasta mediados del siglo XX cuando verdaderamente tuvo un auge considerable y se desarrolla el sistema como ahora se requiere.

En México, las construcciones han logrado resultados técnicos y económicos sumamente interesantes. En 1925 se puede considerar como el primer intento de la Prefabricación en la industria de la construcción.

La historia del presfuerzo en México se desarrolla a la par de la de Estados Unidos. En México surge como una consecuencia de la necesidad de salvar grandes claros que estaban reservados en un principio a estructuras de acero.

La primera estructura realizada por medio del concreto reforzado fue el puente Zaragoza sobre el Río Santa Catalina en Monterrey en el año de 1951, éste fue un puente basándose en vigas “I” postensadas. El ingeniero Alberto Dovalí Jaime (mexicano que es considerado como el iniciador del concreto presforzado en nuestro país) y el ingeniero Rienso (de origen italiano), fueron los encargados del diseño del puente.

En los años cincuenta es cuando el presfuerzo en México toma gran fuerza, en 1955 se constituye la primera empresa prefabricadora en nuestro país VIBOSA. Con los años, este sistema ha tenido una aceptación positiva, permitiendo que el sistema vaya mejorando día con día.

La placa alveolar es un elemento estructural prefabricado de concreto pretensado empleado en forjados unidireccionales resistentes. La producción de placa alveolar

está industrializada en plantas de producción específica, por lo que se posee un correcto control de las variables de diseño.

El pretensado puede definirse como una técnica general que consiste en crear tensiones internas y contra flecha en el elemento estructural para mejorar su comportamiento frente a acciones exteriores, fundamentalmente en servicio. El concreto, como es sabido, es un material con un limitado comportamiento a tracción, mientras que a compresión es capaz de resistir mayores esfuerzos. Por ello el objetivo del pretensado es comprimir la sección de modo que, al aplicar la carga vertical, el concreto de la fibra inferior pase a estar menos comprimido en lugar de traccionado.

Tanto para las placas alveolares como para otros elementos estructurales, el método tradicional de diseño de estructuras es un proceso iterativo que parte de la definición de un diseño preliminar, que habitualmente es función de la experiencia del proyectista o fabricante. A partir de dicho predimensionado, se desarrolla un análisis de la estructura basándose en los principios de la resistencia de materiales y disciplinas afines. Se aplican las condiciones esperables de trabajo para la estructura y se analiza el cumplimiento los estados límite que la normativa vigente establece, para cada tipología estructural.

Como bien es sabido, los recursos necesarios para acometer cualquier obra no son ilimitados, por lo que deben ser empleados del modo más eficaz posible. En este contexto la optimización ha sido la base de importantes avances en ingeniería en la búsqueda de un uso más racional de los recursos.

El modo más inmediato de cuantificar el consumo de recursos es el económico, por ello casi siempre se establece la optimización económica como el criterio de optimización más extendido. No obstante, otros aspectos como la capacidad de carga, el peso, la fabricación, los aspectos medioambientales, entre otros., pueden resultar interesantes desde el enfoque de la optimización.

Una estructura de contención de tierras, denominada comúnmente *muro*, es una estructura permanente, relativamente rígida y continua, que de forma activa o

pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno desequilibrada, natural o artificial, que se encuentra ubicada en su parte posterior. Terzaghi, Peck y Mesri (1996) lo definen como una estructura destinada a soportar suelos que presentan pendientes mayores que su ángulo de reposo.

Los muros de contención de tierras son empleados en diversas actuaciones de la ingeniería, como son: contención de taludes y estribos de pasos superiores en obras de infraestructura viaria (carreteras, ferrocarriles, entre otros.); contención de terrenos en obras de edificación (a nivel superficial y en el interior del terreno); utilización para la construcción de muelles portuarios; contención de vertederos; entre otros. Su empleo data ya de hace varios siglos, pero solo a partir del siglo XVII aparecen las primeras contribuciones que han permitido desarrollar las teorías para su diseño geotécnico (Soriano, 1996).

## PROBLEMÁTICA

En el mundo de la construcción, los muros de contención se utilizan para retener grandes volúmenes de tierra o cualquier otro tipo de material suelto que se utilizará como relleno para alcanzar el nivel de suelo requerido en un proyecto u obra. Esta situación se presenta cuando la superficie de un terreno se encuentra desnivelada, y no es posible iniciar la construcción de una estructura en una superficie plana.

Al igual que todos los trabajos realizados por el hombre, se llegan a tener errores por accidente en el proceso constructivo, así como la demora en el tiempo de ejecución.

## JUSTIFICACIÓN

Ante la creciente necesidad de nuevas tecnologías de construcción en México, el uso de materiales prefabricados es aún una alternativa poco utilizada en el país, especialmente en la zona sur del mismo.

La presente investigación pretende demostrar el uso de Placas Alveolares como una mejor solución para la construcción de muros de contención contra los antiguos métodos de construcción.

Los prefabricados son una gran alternativa que está revolucionando la manera de construir, al ofrecer ventajas en tiempo de construcción, durabilidad, resistencia, entre otras.

El sistema constructivo con Placas Alveolares constituye una garantía para el constructor, ya que disminuye el tiempo de ejecución y aumenta la seguridad de la obra, obteniendo altos rendimientos de colocación.

Se busca demostrar que las placas alveolares pretensadas son consideradas como una de las mejores soluciones para cargas que requieran de una ejecución rápida. Su utilización permite forjados con o sin capa de compresión, en función de las necesidades de cada obra.

El tiempo de ejecución de las placas alveolares en muros de contención es significativo por lo cual el proceso constructivo se acelera, lo cual todo esto se traduce en una relación costo-beneficio en comparación con los muros de contención convencionales.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Verificar que el uso de las placas alveolares para muros de contención, acelera el proceso constructivo, reduciendo así los costos en materiales y mano de obra, teniendo como resultado tiempos de construcción menores lo cual se refleja en la relación costo-beneficio del proyecto en comparación a los muros de contención más usados.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Conocer las diversas tipologías de estructuras que actualmente se utilizan como muros de contención.
2. Demostrar el uso de las placas alveolares como elemento estructural.
3. Optimizar los tiempos en ejecución del proceso constructivo, así como la merma de material.
4. Realizar un análisis de precios unitarios, para así conocer el precio por m<sup>3</sup>, del muro de contención propuesto y el de tres muros de contención comúnmente usados, para saber si resulta más económico utilizar el muro de contención con placas alveolares.
5. Realizar una comparativa del presupuesto total de la construcción del muro de contención con placas alveolares, contra los muros de contención más utilizados en el estado de Chiapas.

# CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE

## 1. ESTADO DEL ARTE

Los suelos, así como otros materiales, tienen un ángulo de reposo propio. Para lograr una pendiente mayor que la proporcionada de dicho ángulo se requiere de algún tipo de muro o soporte que evite el deslizamiento del material, empleando ahí los muros de contención o retención. Los muros de contención son estructuras cuya finalidad es resistir las cargas horizontales del terreno u otro material. En el presente capítulo se describen los diferentes tipos de muros de contención que existen expuestos de acuerdo a su tipología, describiendo sus principales características.

### 1.1 MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención de tierras son elementos estructurales de amplio uso en obras de infraestructura viaria, cuya finalidad es la contención de tierras para estabilización de taludes naturales, formación de terraplenes para carreteras, formación de estribos para obras de paso, entre otros. (Jara, 2008).

Los muros se consideran como estructuras adecuadas para mantener, conservar o crear una diferencia entre niveles de tierra existente a uno y otro lado de ellos, siempre que esas tierras no se mantengan estables por sí mismas en el corte o talud ejecutado (Braja, 2001).

Los muros de contención no solo soportan los empujes horizontales provocados por el terreno, también soporta los esfuerzos verticales transmitidos a los pilares, paredes de carga y muros que apoyan sobre ellos.

Su principal función es la de contener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estos materiales asuman sus pendientes naturales, por ejemplo, cuando la tierra es demasiado suelta y no tiene cohesión aun después de amontonarla con maquinaria, o bien cuando el terreno posee demasiada agua en sí mismo y se vuelve un material pesado y difícil de contener en un límite determinado.

En los últimos años se ha tenido un gran avance tecnológico al incorporar nuevos materiales para el diseño de estas estructuras, se han definido nuevos métodos constructivos y se han creado nuevos elementos estructurales basados en los materiales de uso tradicional.

La construcción de muros está orientado al uso de concreto prefabricado y el refuerzo de suelos a la inclusión de armaduras metálicas.

Los muros de contención de tierras pueden ser divididos en tres tipologías: muros convencionales, muros prefabricados y muros de tierra mecánicamente estabilizada. Los muros convencionales son los de uso más extendido y los más antiguos, empleándose para su fabricación mampostería de piedra, hormigón en masa y hormigón reforzado. Los muros prefabricados (de hormigón) y los muros de tierra mecánicamente estabilizada (con inclusión de armaduras de refuerzo en el suelo), son de uso más reciente, y actualmente son empleados en un gran número de aplicaciones, por su rapidez de ejecución, por las menores afecciones que generan al medio ambiente y por la reducción de costos que se alcanza en su proceso de fabricación y puesta en obra.

De acuerdo con Jara (2008)

Una estructura de contención de tierras, denominada comúnmente muro, es una estructura permanente, relativamente rígida y continua, que de forma activa o pasiva produce un efecto estabilizador sobre una masa de terreno desequilibrada, natural o artificial, que se encuentra ubicada en su parte posterior (trasdós). Terzaghi, Peck y Mesri (1996) lo definen como una estructura destinada a soportar suelos que presentan pendientes mayores que su ángulo de reposo.

Los muros de contención de tierras tienen diversos usos en la ingeniería, como lo son: contención de terrenos en obras de edificación, contención de taludes y estribos de pasos superiores para obras de infraestructura viaria, contención de vertederos, construcción de muelles portuarios, entre otros. Su empleo data ya de hace varios siglos, pero solo a partir del siglo XVII aparecen las primeras

contribuciones que han permitido desarrollar las teorías para su diseño geotécnico (Soriano, 1996 en Jara, 2008).

Este tipo de construcciones son, generalmente, un elemento de transición, destinada a mantener y establecer una diferencia de niveles en el terreno, donde la pendiente superior va a permitir la resistencia del suelo, transmitiendo a su base y resistiendo deformaciones admisibles los correspondientes empujes laterales a los que se ve sometido.

Los muros de contención se emplean para estabilizar deslizamientos potenciales o que ya existen, donde el muro que se encuentra al pie del talud es el elemento de contención. Existen diversas clasificaciones por las cuales se distinguen las distintas tipologías de muros de contención de tierras que son empleadas en obras de infraestructura viaria (Jara, 2008).

De acuerdo con Jara (2008)

Las diversas tipologías de muros de contención de tierras que pueden ser empleadas en obras de infraestructura viaria, son diseñadas para que resistan las acciones a las cuales se ven sometidas, y según las normativas actuales y el tipo de estructura que se emplee, se analizan tanto por estabilidad externa como por estabilidad interna.

Para diseñar un muro de contención es por tanteos, definiendo inicialmente las primeras dimensiones que se evalúan para que la estructura sea estable al deslizamiento, hundimiento, vuelco y estabilidad global, este último a partir de un análisis de estabilidad de taludes que incluya la estructura, el relleno de trasdós y el terreno de cimentación. Para el análisis de estabilidad interna, característico de muros de tierra mecánicamente estabilizada con armaduras de refuerzo, dicho análisis está orientado a analizar la rotura de las armaduras y su interacción con el material de relleno que forma el muro propiamente tal (Jara, 2008).

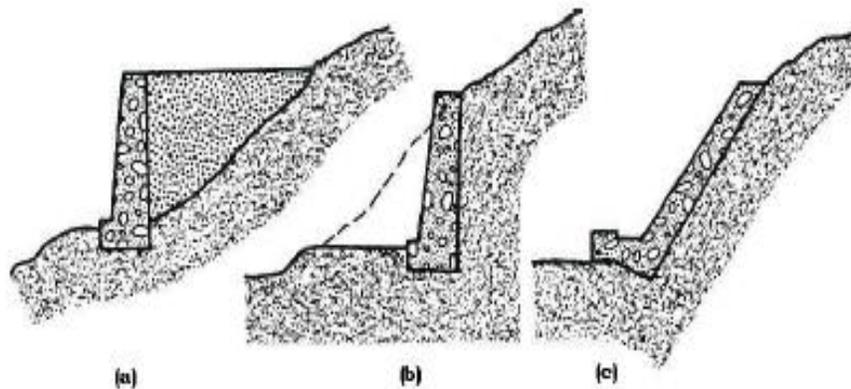
Siguiendo al mismo autor, para determinar las acciones que actúan sobre un muro y que permiten efectuar el análisis de su estabilidad se realiza, por un lado, de las fuerzas solicitantes que actúan como fuerzas desestabilizadoras, y por otro, de las

fuerzas resistentes, que actúan como fuerzas estabilizadoras y que contribuyen a la estabilidad de muro. La determinación de las fuerzas desestabilizadoras, se hace a partir de diversos métodos de diseño geotécnico, siendo los métodos desarrollados por Coulomb (1776 en Jara, 2008) y Rankine (1857 en Jara, 2008) los de más amplia aplicación para el dimensionamiento de estas estructuras.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

Diversas clasificaciones de los muros de contención han sido planteadas históricamente. Desde un punto de vista funcional, los muros de contención se pueden dividir en tres tipos fundamentales: de sostenimiento, de contención y de revestimiento (Jiménez Salas et al, 1981 en Jara 2008).

Figura 1. Tipologías de muros según su funcionalidad: (a) de sostenimiento.



Fuente: Jiménez Salas et al (1981).

Los muros de sostenimiento son aquellos que se construyen separados del terreno natural, y que posteriormente se rellenan con tierras. Los muros de contención son los construidos directamente contra un talud en terreno natural, sin relleno en la parte posterior. Finalmente, los muros de revestimiento son diseñados para recubrir y proteger un talud de la erosión, arrastre o meteorización, siendo

elementos de delgado espesor adosados a un terreno natural en pendiente (en general son los menos empleados).

De acuerdo con Jara (2008)

Otra importante clasificación de los muros se basa en la forma de cómo ellos contrarrestan los esfuerzos del terreno a los que se ven sometidos. Existen muros de gravedad, en los que el efecto estabilizador viene dado por su peso propio, y muros aligerados, en los que el efecto estabilizador viene dado por el aprovechamiento de las tierras que son colocadas en su trasdós (caso típico de los muros ménsula).

De igual manera, los muros de contención pueden ser clasificados por el material con el cual son fabricados. Antes de la aparición del concreto armado, la mayor parte de los muros de contención eran hechos de mampostería de piedra y concreto en masa. La estabilidad de la estructura es principalmente por su peso, por lo que también son conocidos como muros de gravedad.

Los muros de concreto armado ha permitido reducir el peso de las estructuras y al mismo tiempo aumentar su altura, por lo que también son llamados muros aligerados. En función de su configuración geométrica, estos muros pueden ser de semigravedad, cantilever (o en ménsula) y con contrafuertes, su estabilidad es debida al peso de tierras que se ubica en la parte posterior del muro y sobre la zapata (Jara, 2008).

### **1.3 TIPOLOGÍAS DE MUROS DE CONTENCIÓN**

Podemos diferenciar aquellos muros que son completamente contruidos in-situ (muros convencionales), de aquellos de aparición más reciente y que son fabricados mediante un proceso industrializado (muros prefabricados y muros de tierra mecánicamente estabilizada).

La aparición de muros prefabricados en el mercado ha traído innumerables beneficios, no solo en lo referido al costo de construcción, sino también a aspectos

medioambientales, a la rapidez de ejecución de las obras y al desarrollo de una técnica que permite alcanzar mayores alturas, adecuándose así a los requerimientos que imponen los proyectos. Estos beneficios también han sido alcanzados con los muros de tierra mecánicamente estabilizada, siendo además posible su empleo en zonas con suelos que presentan inadecuadas propiedades geotécnicas.

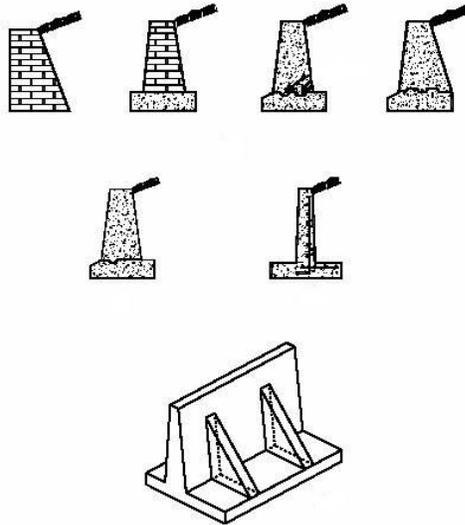
Dentro de cada una de estas tipologías es posible incluir varios tipos de muros de contención, dependientes principalmente de los materiales empleados para su construcción y de su geometría.

### **1.3.1 MUROS CONVENCIONALES**

Los muros convencionales, o también llamados tradicionales, se encuentran incluidos dentro del grupo de los denominados rígidos, definidos como aquellos que, ante los empujes de tierras, por su forma y dimensiones sufren preferentemente movimientos de giro y/o traslación, sin deformaciones significativas de flexión, que a su vez pueden dar lugar a modificaciones en la distribución de empujes. Los movimientos que pueden producirse en cualquier tipología de estos muros, dependen principalmente de las condiciones de cimentación de la estructura.

Dentro de esta tipología se pueden incluir los muros de gravedad, los muros de semigravedad, los muros en L o T invertida (ménsula) y los muros con contrafuertes. De estos, los muros ménsula son los que pueden verse más afectados por la deflexión de su alzado, debido a que estos muros son más ligeros con relación a los muros de gravedad.

Figura 2. Diversas tipologías de muros convencionales.



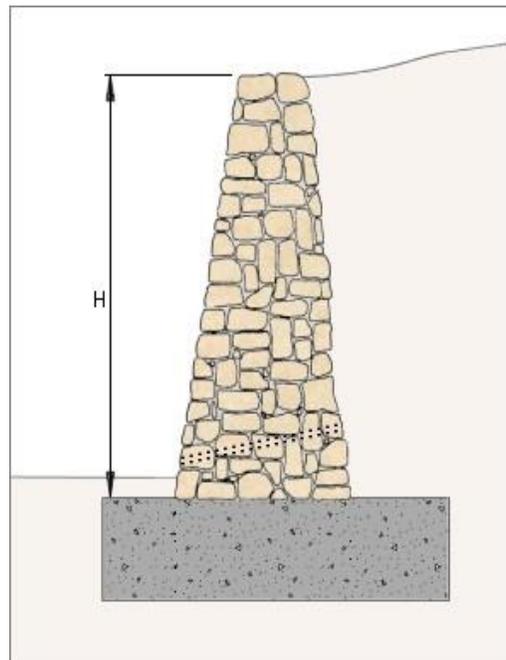
Fuente: Jara 2008

### 1.3.2 MUROS DE GRAVEDAD

Es la tipología de muro más antigua, y pueden ser fabricados de concreto en masa, mampostería y fábrica. Suelen dotarse de una leve pendiente en el interior, con el propósito de mejorar la estabilidad de la estructura. El efecto estabilizador de estos muros es logrado por su peso propio y por su resistencia a la compresión, no precisando de armaduras dada estas características. Además, pueden ser de variadas formas y son los más resistentes a los agentes destructivos. En general no es frecuente el empleo de estos muros para alturas mayores a 8 m.

Los muros de gravedad utilizan su propio peso para resistir las fuerzas laterales de tierra u otros materiales usados como relleno. No necesitan de refuerzo para cumplir con su función y suelen ser muros macizos.

Figura 3. Muro de gravedad de mampostería.



Fuente: Jara (2008)

Los muros de gravedad, generalmente tienen un perfil trapezoidal y dependen principalmente de su propio peso para su estabilidad, son hechos generalmente de concreto ciclópeo o aun de piedras y no llevan refuerzos. Deben proporcionarse de tal manera que no haya esfuerzos de tracción en ninguna de las secciones (Ordoñez, s.f.). Los muros de gravedad son muy económicos para alturas bajas, que van de 3 hasta 3.50 metros aproximadamente.

Debido a las grandes dimensiones de la masa de concreto de estos muros, Franklin et al (2012) nos dice que, las cargas actuantes producen solo esfuerzos de pequeña magnitud, por lo cual se suele utilizar concreto de baja calidad en su construcción ( $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$ ).

Como estos muros pueden sufrir algún movimiento al entrar en carga, si éste es de giro, con la inclinación del interior se evitan efectos visuales indeseables de desplome, lo que tiende a ocurrir cuando el interior es vertical. Con respecto al

exterior, también puede ejecutarse con inclinación, lo que resulta favorable para la estabilidad.

Uno de los inconvenientes de los muros de gravedad es el hecho de que su peso está limitado por la resistencia del cimiento, situación muy importante si el material del mismo es arcilloso. Por contrapartida, la principal ventaja que presentan estos muros es su facilidad para ser construidos y el reducido costo que presentan al ser empleados en estructuras de pequeña altura. Dentro de esta categoría también se encuentran los muros criba, los muros de gaviones y los de escollera, que suelen diseñarse como muros de gravedad.

### **1.3.3 MUROS EN CANTILÉVER**

Los muros en cantiléver son muros de concreto armado, se utilizan generalmente por ser económicos para salvar desniveles de hasta 6 metros de altura. Constan de un cuerpo vertical o alzado que contiene tierra y se mantiene en posición gracias a la zapata o losa base.

Los muros de contención en cantiléver resisten el empuje originado por la presión del relleno, por medio de la acción en voladizo de un muro vertical y una base horizontal, para garantizar la estabilidad (Franklin et al, 2012). Se diseñan para resistir los momentos flectores y el cortante producidos por el empuje.

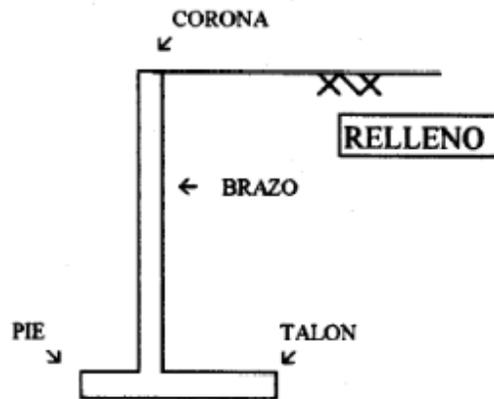
Resisten el empuje del suelo por su propio peso y el del suelo que cargan. Los muros en cantiléver son diseñados para soportar la presión de tierra, el agua debe eliminarse con distintos sistemas de drenaje que pueden ser barbacanas colocadas atravesando la pantalla vertical, o sub-drenajes colocados detrás de la pantalla cerca de la parte inferior del muro.

Si el terreno no es drenado correctamente pueden presentarse presiones hidrostáticas no deseables.

Estos muros son de concreto reforzado y la forma más usual que se utiliza es la llamada “T”, por lo cual, este elemento trabaja como viga en voladizo, empotrado en una zapata inferior (Ponce et al, 2014).

En el caso del material de relleno sobre el talón, además del peso del muro, contribuye a la estabilidad de la estructura.

Figura 4. Muro en Cantiléver



Fuente: Ponce et al (2014).

Como el brazo representa un voladizo vertical, su espesor requerido se incrementa rápidamente con la altura, incrementando así sus costos de construcción, por lo cual, la utilización de este tipo de muros es factible para alturas mayores a 3 metros y menores a 6 metros.

### 1.3.4 MUROS JAULA

Los muros criba, o también denominados muros *jaula*, están formados por dos clases de vigas cortas, que pueden ser de hormigón prefabricado o madera y que se entrecruzan entre sí, formando un armazón que es relleno posteriormente con material granular drenante. Generalmente son instalados con su intradós en pendiente, aunque puede ser vertical para aplicaciones de escasa altura.

Figura 5. Muro de contención tipo cribas.



Fuente: Jara (2008)

Los muros de gaviones están formados por elementos metálicos confeccionados con redes de malla hexagonal de doble torsión, que son rellenos posteriormente con gravas. Estos muros suelen ser de altura moderada (del orden de 5 m), aunque se han construido muros de 25 m de altura con resultados satisfactorios. Las unidades de gaviones son firmemente unidas entre sí con redondos que los conectan, fijados a través de costuras con alambres de iguales características a los que forman las mallas, de modo de formar una estructura continua.

Figura 6. Muro de contención de gaviones.



Fuente: Jara (2008)

La elección del material a ser empleado en la construcción de este tipo de estructuras, referido esto a las características de la malla o el material de relleno, es fundamental para la obtención de una estructura realmente eficaz. La malla, en particular, debe poseer una elevada resistencia mecánica, elevada resistencia contra la corrosión, buena flexibilidad y no ser fácil de destejer o desmallar.

Los muros de escollera están constituidos por bloques pétreos, que son obtenidos generalmente por voladura, con formas más o menos prismáticas y superficies rugosas. Tanto los muros de gaviones como los muros de escollera presentan la ventaja de su gran flexibilidad al ser empleados en estabilización de taludes, principalmente por su capacidad de sufrir movimientos importantes sin romperse, manteniendo íntegras sus características básicas como elemento de contención (Ortuño, 2005).

Figura 7. Muro de contención de escollera.



Fuente: Jara (2008)

#### **1.3.4 MUROS DE SEMIGRAVEDAD**

Estos muros son una variante de los denominados muros de gravedad, constituidos fundamentalmente por concreto y que van ligeramente armados, con lo que se reduce en parte su peso al necesitarse de menos hormigón para ser construidos. La reducción de la sección de hormigón suele ir asociada a una reducción de su base de apoyo, y por lo tanto a un aumento de las presiones sobre

el terreno. Dada sus características, estos muros suelen ser considerados también como muros *aligerados*.

Los muros de semigravedad son un poco más esbeltos que los muros de gravedad, toleran esfuerzos de tracción pequeños que se absorben con pequeñísimas cuantías de refuerzo y que en general pueden resultar aún más económicas que los muros de gravedad para alturas hasta de 4 metros (Ordoñez, s.f.).

### 1.3.5 MUROS MÉNSULA Y CON CONTRAFUERTE

Los muros con contrafuerte son los que están contruidos por placas verticales que se apoyan sobre grandes voladizos espaciados regularmente que se denominen contrafuertes (Ordóñez, s.f.). Son convenientes para alturas mayores a 6 metros.

Estos tipos de muros son empleados ante la necesidad de reducir el volumen de materiales a emplear. Existen de dos tipos: los muros *ménsula* y los muros *con contrafuertes*. Los muros ménsula, en L o T invertida (también denominados cantilever), están contruidos por una losa o zapata sobre la que se levanta el alzado, siendo generalmente de espesor reducido, absorbiendo las flexiones de la ménsula mediante armadura sencilla o doble. También pueden llevar zarpas en la zapata, cuyo propósito es mejorar su resistencia al deslizamiento.

Figura 8. Muro de contención tipo ménsula.



Fuente: Jara (2008)

Los muros ménsula de uso más tradicional (en T invertida), están constituidos por una zapata y un alzado. La parte de la zapata que sobresale hacia el intradós, suele denominarse “puntera”, mientras que la que se extiende hacia el trasdós, “talón”. Sobre el talón, una parte de las tierras correspondientes al relleno del muro gravitan sobre él, dándole estabilidad y confiriéndole al conjunto muro-relleno características que lo hacen funcionar globalmente como muro de gravedad (Ortuño, 2005).

La presión que ejerce este tipo de estructuras sobre el cimiento, es menor que la que genera los muros de gravedad, por lo que son adecuados cuando la cimentación posee características geotécnicas deficientes. El empleo de este tipo de estructuras es recomendable para alturas no superiores a 14 m.

Los muros de contrafuerte son una variante de los muros L. A intervalos regulares tienen placas delgadas de concreto conocidas como *contrafuertes*, que conectan entre sí el muro (alzado) con la losa de base. Con esto se reduce la fuerza cortante y los momentos flectores. Estos contrafuertes pueden ser ubicados en el exterior como en el interior, aunque su empleo más habitual es en el exterior.

### 1.3.6 MUROS PREFABRICADOS

Los muros convencionales en muchas ocasiones resultan inadecuados por los requerimientos en cuanto a estabilidad y deformabilidad de su cimentación. Además, la mayor demanda para la conservación del medio ambiente obliga a que las obras interfieran lo menos posible con el aspecto natural del entorno.

A partir de ello, en las últimas décadas han aparecido en el mercado nuevas alternativas de solución que compaginan las funciones resistentes con las ecológicas. Estas nuevas alternativas corresponden a estructuras de contención prefabricadas, fabricadas principalmente en concreto, que permiten alcanzar una mayor rapidez de ejecución de las obras y una minimización del impacto ambiental.

Los muros prefabricados de concreto son elaborados total o parcialmente por un proceso industrial mecanizado. Las principales ventajas que lleva asociada la utilización de este tipo de muros de contención de tierras, son:

- Reducción de tiempo y de costes en la ejecución de la obra, influenciado por la sencillez de montaje de los elementos prefabricados.
- Reducción de los recursos humanos necesarios para su puesta en obra, con una menor mano de obra especializada.
- Mejora de la calidad final de la estructura.
- Reducción del impacto ambiental, con la posibilidad de obtener diferentes acabados dependiendo del entorno donde se ubique la estructura de contención.

#### **1.4 PLACAS ALVEOLARES PARA MUROS DE CONTENCIÓN**

Las placas alveolares resultan ser eficaces para resistir fuerzas horizontales, si su plano medio se dispone verticalmente. La eficacia de estas placas se debe al pretensado que alcanza su mayor competitividad en costo cuando, al actuar como una fuerza excéntrica, esta comprime las fibras de la sección resistente que estará sometida, por la acción de sobre cargas, a mayores tracciones. En este caso, el pretensado provoca que las placas alveolares presenten contraflecha, por lo cual, cuando se coloca una placa alveolar en vertical no se permiten contraflechas importantes que hagan que el parámetro pierda la verticalidad que requiere (AIDEPLA, 2009).

De acuerdo con AIDEPLA (2009) nos dice que

En estas ocasiones el pretensado deberá disponerse suficientemente centrado, compensando el incremento del costo que conlleva junto a las diferentes ventajas económicas que ofrece la placa alveolar. La utilización de estas placas en obras con parámetros verticales importantes añade a la economía de la obra ventajas propias de la construcción industrializada con

elementos prefabricados de hormigón pretensado: facilidad y rapidez de montaje, garantía de calidad y, en definitiva, una mayor economía global (pp.1).

Las placas alveolares son una solución constructiva ideal para la construcción de muros y de pantallas para contener empujes de tierras, paredes de depósitos sometidas a la presión del agua o de otros líquidos.

Para el caso particular del uso de placas alveolares para muros de contención ofrecen ventajas en durabilidad y durante el proceso constructivo. Siguiendo con AIDEPLA (2009), las ventajas en la durabilidad porque la ausencia de la fisuración del concreto que proporciona el pretensado, mejora de manera importante la protección de la armadura frente a los riesgos de la corrosión que conlleva el contacto con el terreno, tanto por la posible existencia de agua, como por la misma composición química del suelo.

La placa alveolar es un elemento resistente desde el momento que queda vinculado a la cimentación lo que facilita la construcción por bataches, si así fuese necesario, y no precisa de encofrados ni de armaduras a disponer in situ, lo que supone ventajas durante el proceso constructivo.

La junta entre placas alveolares se tapa fácilmente para evitar la salida de finos desde el terreno. Además, nos menciona AIDEPLA (2009), toda la superficie de la placa alveolar puede impermeabilizarse, si fuera necesario. Si sobre el elemento de contención de tierras actúan en la cabeza del mismo cargas puntuales, o cargas de elevada magnitud, que convenga repartir, la placa alveolar permite solidarizarse con las adyacentes mediante una viga de hormigón armado que actuará como viga de arriostamiento en cabeza, unida a las placas alveolares mediante armado y hormigonado parcial de juntas y alveolos.

Con la placa alveolar se puede materializar diversos esquemas resistentes, tales como muros en ménsula, muros acodalados o apoyados en la estructura, tablestacados, e incluso pantallas ancladas al propio terreno. Todo ello de acuerdo con los cálculos correspondientes y materializando adecuadamente las uniones con

la zapata en el primer caso, con el apoyo en el segundo y asegurando el contacto con el terreno en los demás casos (AIDEPLA, 2009).

Al dimensionar el pretensado de las placas alveolares se considerará que solamente en el caso de muro en ménsula las tracciones se localizan permanentemente en una de las caras de la placa alveolar. En los demás casos ambas caras pueden estar sometidas a tracción, siendo necesario disponer pretensado en las dos caras de la placa alveolar con la capacidad suficiente para resistir dichas tracciones.

Las placas alveolares para muros de contención, se fabrican con laterales machihembrados y su cara superior está tratada con mortero monocapa fratasado mecánicamente. El canto de la placa a colocar vendrá determinado por los esfuerzos a los que estará sometida por efecto del empuje de las tierras.

Figura 9. Muro de contención con placas alveolares.



Fuente: Prefabricados LECRIN S.A. (s.f.)

El montaje de estas placas se puede realizar bien en posición horizontal como elementos biapoyados, transmitiéndose finalmente los esfuerzos a los pilares o bien en posición vertical, empotrada en una cimentación lineal.

Dado que la placa alveolar alberga la armadura principal en una de sus caras; la cara lisa (cara traccionada), es necesario prestar especial atención a su colocación como elemento de contención. Así, en el caso de placas colocadas horizontalmente sobre pilares, las tierras deben quedar del lado de la cara tratada (cara rugosa).

Mientras que, en el caso de placas alveolares colocadas en posición vertical, empotradas en una cimentación lineal, las tierras deben quedar del lado de la cara lisa, ya que, en este caso, esta es la cara traccionada de la placa.

Cuando las placas alveolares se disponen como muros de sótano, además de vincularse a la cimentación también se unirá a los forjados. En caso de que la vinculación a la cimentación reproduzca un empotramiento, de acuerdo con AIDEPLA (2009), la profundidad de entrega de la placa alveolar en el correspondiente cáliz deberá asegurar que la armadura es eficaz para resistir los esfuerzos en el empotramiento y estar debidamente anclada en esta sección.

Siguiendo con AIDEPLA (2009)

En caso de que el muro esté siempre acodalado a la estructura de modo que su estabilidad esté garantizada, incluso durante las operaciones de montaje, materializando una unión rotulada en la cimentación, la placa alveolar se introducirá en la cimentación la profundidad estrictamente necesaria para transmitir por contacto lateral resultante de las cargas horizontales que actúan sobre ella (pp.3).

La resultante de cargas verticales se transmite a través de su sección transversal. El estado de esfuerzo cortante que debe de absorber la placa alveolar decidirá si es necesario macizar los alveolos a su llegada a la cimentación.

Otra solución que ofrecen las placas alveolares en la contención de empujes es la de vallado, que consiste en disponer las placas, con el eje de los alveolos en dirección horizontal, entre elementos verticales a los que transmiten los empujes de las tierras contenidas. Dichos elementos verticales pueden ser pilares de una estructura entre los que las placas forman el muro de contención de tierras.

Estos pilares, su cimentación y el resto de la estructura, han de ser capaces de absorber el incremento de esfuerzos producidos por las fuerzas horizontales que reciben de las placas. Pero el vallado de contención, puede ser autónomo de modo, que contenga por sí mismo las paredes de un vaciado o cualquier otro desnivel de tierras.

En este caso, los elementos verticales que reciben las placas, al carecer de otros apoyos, deben estar empotrados en el terreno. Como elementos verticales pueden emplearse perfiles de acero IPE o HE, o vigas de hormigón, armado o pretensado, de sección adecuada en doble T (AIDEPLA, 2009).

En cualquier caso, estos elementos deben cumplir dos condiciones esenciales:

- Estar preparadas para resistir, con la debida seguridad, los esfuerzos transmitidos por las placas que recogen los empujes de las tierras.
- Disponer de una sección en doble T en la que encajen y queden sujetas los extremos de las placas.

Por ello, el espacio libre entre las alas de la sección no debe ser menor que el canto total de la placa alveolar más de dos centímetros, aproximadamente, además de la tolerancia al replanteo y el efecto de la contraflecha, de modo que la placa pueda deslizar fácilmente entre las alas durante las operaciones de montaje.

Una vez colocadas en su posición definitiva, debe retacarse, con mortero de cemento, la holgura entre las placas y las alas.

Figura 10. Placas Alveolares en vallados para contención de tierras.



Fuente: Aidepla (2009)

Cada placa alveolar trabajará como simplemente apoyada en sus extremos, sometida a la carga horizontal del empuje de tierras que corresponde con la profundidad a que se encuentre la placa.

La separación entre elementos verticales es la luz de las placas; cuanto mayor sea la separación de estas placas, más armada o de mayor canto tendrá que ser la placa, a igualdad de profundidad, y también transmitirá más carga a los elementos verticales; contrario a lo que sucede con la separación de las placas, a mayor separación menos elementos verticales se necesitan.

Por lo tanto, se debe considerar la separación entre elementos verticales para obtener la solución más económica, dadas las características del terreno y los medios de excavación y elevación con que se cuente, eligiendo pocos elementos verticales pero lo más fuertes, con mayor profundidad de empotramiento y placas de mayor canto o más armadas, o más elementos verticales, menos fuertes, con menor profundidad de empotramiento y placas de menor canto y menos armadas.

AIDEPLA (2009) nos dice que, en el caso de un terreno horizontal, sin agua, sin sobrecarga y en un paramento sin limitaciones de contraflecha en las placas alveolares, una separación de elementos verticales de 5 m, permitiría llegar a

profundidades del orden de 3.50 m, 4.50 m, o 6.50 m con placas de canto de 16 cm, 20 cm o 25 cm, respectivamente.

Para las distintas condiciones en las que se necesitara implementar el uso de placas alveolares, los valores definitivos se determinarían a través del cálculo tomando en cuenta las características del terreno en que se necesitara.

Siguiendo con AIDEPLA (2009)

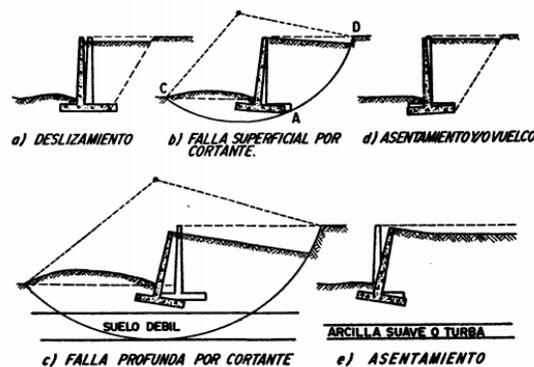
El uso de muros prefabricados permite realizar trabajos de puesta en obra reduciendo el tiempo y costo, y ofrecer una mejor calidad final de la estructura, desde el punto de vista estético y estructural. Además, de reducir el impacto ambiental al tener una menor cantidad de residuos y menos consumo de energía primaria (pp.4).

Cualquiera de los tipos de muros antes mencionados puede utilizarse para soportar una carga vertical además del empuje de tierras.

### 1.4 FALLAS COMUNES EN LOS MUROS DE CONTENCIÓN

Las fallas comunes que se presentan en los muros de contención son, por ejemplo, las fallas por deslizamiento, la falla superficial por cortante, asentamiento y/o vuelco, la falla profunda por cortante y el asentamiento.

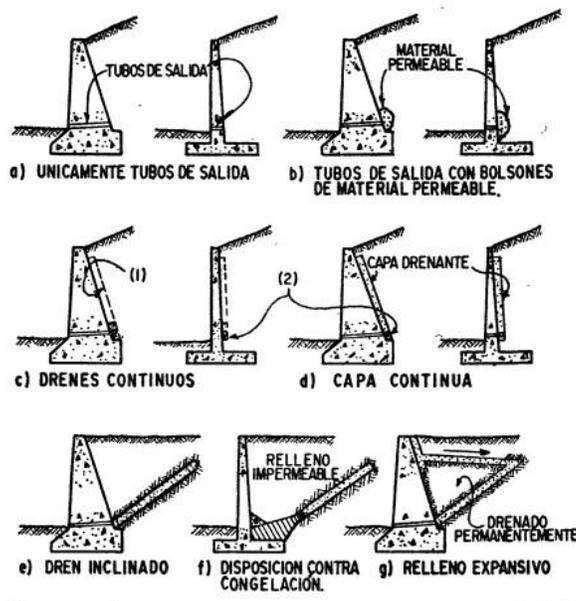
Fallas comunes en los muros de contención



Fuente: Barrera, 2004.

De igual manera los muros de contención deben estar provistos por un sistema de drenado, a fin de evitar un aumento de presiones en el respaldo del muro, pueden ser diseñados con tubos de salida en la parte inferior del muro, con tubos de salida con bolsones de material permeable, con drenes continuos en el respaldo del muro unido al tubo de salida, se les puede colocar una capa drenante en todo el respaldo del muro a fin que drene el agua hacia el tubo de salida, de igual forma pueden contener un dren inclinado, se puede colocar un relleno impermeable dentro del material que sostiene el muro de contención a modo que funcione como disposición contra congelación, o bien, un drenado permanente colocado de tal forma que conecte al tubo de salida, haciendo un relleno expansivo.

Drenaje en muros de retención



Fuente: Barrera, 2004.

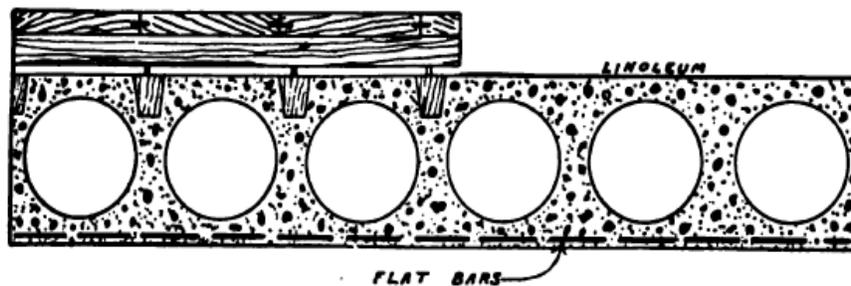
# CAPITULO II. ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 EVOLUCIÓN Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PLACA ALVEOLAR

Una de las primeras referencias bibliográficas en la que aparece una tipología estructural que podría ser precursora de la actual placa alveolar, data de 1904 en la publicación americana Reinforced Concrete, (Marsh, 1904 en Albero, 2016).

Figura 11. Sistema estructural precursor de la placa alveolar



Fuente: Marsh (1904 en Albero, 2016).

Siguiendo la evolución histórica de la placa alveolar, la publicación italiana ASSAP (1998, en Albero, 2016) ubica los inicios de la fabricación industrializada de la placa alveolar en los años treinta en Alemania, a cargo de los alemanes *Schaefer* y *Kuen*. Ésta dio lugar en los años cuarenta a la aparición de un novedoso sistema de fabricación bajo la denominación “*Schaefer*”, que vendió patentes tanto en Alemania como en Estados Unidos.

En Europa se introdujo por primera vez el pretensado en la placa alveolar en una planta alemana, siendo su cálculo estudiado por el profesor *Friedrich* de la Universidad Técnica de Graz (Austria).

A su vez, en los años cincuenta la sociedad americana que había adquirido la patenten “*Schaefer*” desarrolló el producto, introduciendo también el pretensado y generando una nueva patente bajo la denominación *Spancrete*.

Una tecnología importante que afectó de manera notable a la fabricación de placas alveolares fue la aparición de la máquina de vibrado. En el ámbito europeo ésta dio lugar a una nueva evolución de la patente hacia un sistema basado en el vibrado, denominado Slip-form y que se comercializo bajo la denominación *Roth*.

En 1960 en Canadá la sociedad Spirroll desarrolló una original máquina para producir placas alveolares con tornillos sin fin que extruían el concreto. Mediante este nuevo procedimiento constructivo, el concreto era compactado y vibrado de forma cilíndrica con una baja relación de agua/cemento. Las placas alveolares fabricadas con esta tecnología se caracterizaban por una sección circular de alveolo, que se distinguía de la típica sección oblonga generada por la máquina de vibrado.

Aunque el procedimiento de extrusión encontró muchos partidarios, sobre todo en Estados Unidos, Canadá y algunas zonas del norte de Europa, como siempre ocurre con los dualismos competitivos, el estímulo sobre la supremacía entre ambos sistemas: de producción por vibrado (sistema slip-form) y extrusión (extruder), supuso un gran beneficio para el desarrollo de los prefabricados de placas alveolares en todo el mundo.

Otro hecho importante en la historia de las placas alveolares, de acuerdo con Pons (2009), sucede en la década de 1970 en España, durante esa década es la primera etapa en la que hay una importante prefabricación de escuelas, para lograr saciar el déficit de plazas escolares que sufrían en aquella época. El gobierno toma como medida concursos derivados de los “Pactos de Moncloa”. Siguiendo a Pons (2009) nos dice que, por ejemplo, en un concurso de 1977 se adjudicaron 191 centros docentes para prefabricar en 23 provincias españolas. En esos años a través de veinte industrias se prefabricaron en todo el territorio centenares de centros para todas las edades. Eran “proyectos tipo” que se repetían en cualquier punto del país.

El sistema de muros portantes tricapa, pórticos y placas de forjado de hormigón prefabricado inició en 1971, cuando la empresa de “Cidesa” empezó a producir edificios en sus plantas prefabricadoras. Construyeron una gran cantidad de edificios docentes en Alicante, Cataluña, Valencia... El sistema estaba compuesto por una estructura prefabricada de hormigón de muros portantes y losas alveolares, todas las uniones se hormigonaban en la obra (Pons, 2009).

El sistema de muros portantes tricapa y placas de forjado de hormigón prefabricado sucede en 1972 con la empresa “Mondulbeton”, quienes empezaron a prefabricar una versión del sistema danés “Jespersen”, que usaron por doce años.

El sistema “Modulbeton” permitía construir estructuras y fachadas de elementos de hormigón armado prefabricado, que seguían el módulo de 90 cm en planta. Las estructuras estaban formadas por muros portantes, pórticos y forjados de losas alveolares (Pons, 2009).

Siguiendo a Pons (2009)

Eran muros prefabricados de varias capas: una interior portante de hormigón armado de 10 a 15 cm de espesor, una intermedia de EPS y una capa exterior de hormigón armado de 8 cm. Las juntas entre paneles se resolvían mediante hormigón vertido en la obra en el interior y un diafragma de neopreno en el exterior (pp.19).

Figura 12. Muros prefabricados



Fuente: Pons (2009).

El sistema de pórticos, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado sucede en 1978 en la fabricación de más de treinta centros docentes.

Pons (2009), nos dice que

El sistema, que fabricaba cada empresa con sus particularidades, consistía en una estructura y fachada prefabricadas de hormigón. La estructura era de pilares, vigas y forjados de losas alveolares. Las uniones de los paneles de fachada eran atornilladas o soldadas, pero las uniones estructurales eran hormigonadas in situ. La fachada era de paneles de hormigón armado o de placas alveolares. Las juntas entre paneles se resolvían mediante un sellado con masillas y unos sistemas de drenaje de seguridad. El montaje de una escuela también podía reducirse a 2 meses, incluyendo la colocación de la estructura y la fachada prefabricadas y la ejecución in situ de las otras partes del edificio (pp.20).

El sistema de pórticos, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado forma parte de las tecnologías prefabricadas de los años 2000. Esta tecnología aún sigue vigente, fue el resultado de la evolución de los sistemas utilizados en los años de 1970. Este sistema tiene componentes prefabricados de hormigón similares a los de los sistemas antes mencionados.

La estructura es de pilares, vigas y losas alveolares; los cerramientos de fachada son de paneles autoportantes (Pons, 2009).

Pons (2009), menciona que

Las uniones estructurales se resuelven en su mayoría con hormigón vertido en la obra, como, por ejemplo, la unión entre jácena y placas alveolares de la figura adjunta. Pero en la actualidad está aumentando el uso de uniones atornilladas con elementos auxiliares de acero. Por ejemplo, los “pies de pilar”, que unen los pilares con la cimentación mediante tornillos y mortero de alta resistencia y baja retracción. En los años setenta, ya se habían

desarrollado en el extranjero uniones semejantes entre pilares, entre pilares y vigas, algunas de las cuales se siguen utilizando en la actualidad junto con nuevas soluciones.

El sistema de módulos portantes, placas de forjado y paneles de fachada de hormigón prefabricado fue empleado por primera vez en edificios de viviendas plurifamiliares de Barcelona entre los años de 2003 y 2004 por el equipo Arquitectura Pich-Aguilera y la prefabricadora “Pujol”. Se construyeron entre el año 2002 y 2006 5 escuelas de grandes dimensiones en Cataluña.

En la actualidad se ha menospreciado su uso por el elevado costo de los módulos de hormigón armado prefabricado. Estos módulos eran el elemento más significativo de la estructura de este sistema. Tenían sección en “U” y unas dimensiones máximas de 2,4 x 3,26 x 6 m. Soportaban el forjado de placas alveolares y las vigas de fachada, las uniones de las cuales se hormigonaban in situ, junto con la capa superior de hormigón armado (Pons, 2009).

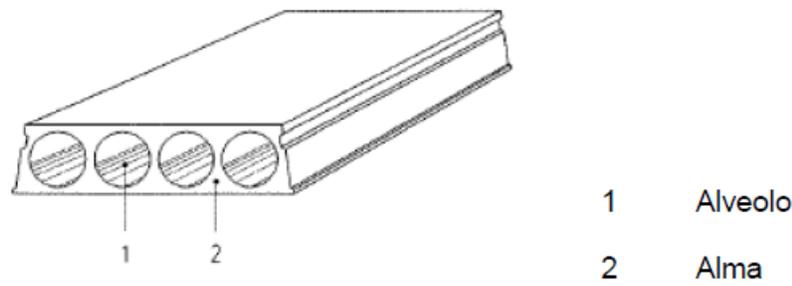
Estos sistemas suponen un avance en la construcción con elementos prefabricados, lo cual se ha logrado disminuir las operaciones en la obra y automatizar los procesos productivos, se ha logrado agilizar la actualización de los sistemas para incorporar cambios. Siendo la placa alveolar un elemento estructural altamente industrializado, introducir este sistema constructivo a ciertas regiones de Chiapas supondrían un avance tecnológico en la zona, pudiendo realizar construcciones de manera más eficiente disminuyendo el tiempo y las operaciones de obra, ofreciendo al mismo tiempo una solución de construcción moderna.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PLACAS ALVEOLARES**

De acuerdo con Andace (s.f.) las placas alveolares son un elemento monolítico, generalmente pretensado, con un canto total constante, dividido en una placa superior e inferior (denominadas alas), unidas por almas verticales, formando así alveolos como huecos longitudinales en la sección transversal, que es constante y presenta un eje vertical simétrico. Siguiendo al mismo autor la misión fundamental

de los alveolos es aligerar el peso del elemento buscando una sección resistente que optimice la relación solicitaciones estructurales / materiales y, con ello, reducir el coste.

Figura 13. Placa Alveolar



Fuente: Andace (s.f.)

La superficie inferior de la placa alveolar, presenta un acabado liso mientras que la parte superior puede presentar si es requerido un ranurado que mejora la adherencia entre la placa y el afinado de piso (Titán Edificaciones, s.f.).

Andace (s.f.) nos dice que las placas tienen bordes laterales provistos con un perfil acanalado para crear una llave a cortante que transfiere el esfuerzo cortante a través de las juntas de las piezas contiguas. Para el efecto diafragma, las juntas tienen que funcionar como juntas horizontales a cortante. Pueden disponerse acanaladuras verticales para mejorar esta acción (Andace, s.f.).

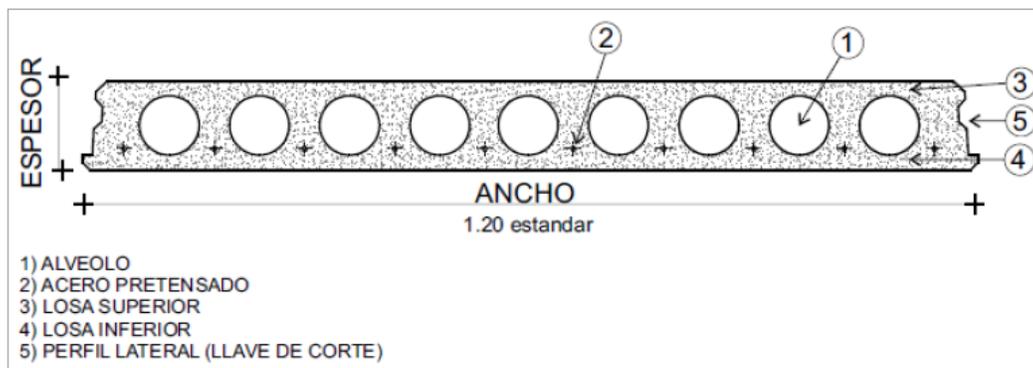
La placa alveolar, de acuerdo con Manzanares (2016), es un elemento pretensado y prefabricado de concreto de sección constante, aligerada con alveolos longitudinales para reducir peso. Se utilizan principalmente en sistemas entrepisos y losas, cubiertas de techos, cerramientos, muros de contención, puentes y graderías por mencionar algunos usos.

Adicionalmente, y gracias a la forma de este prefabricado permite que entre los alvéolos puedan colocarse instalaciones hidrosanitarias o eléctricas (Titán Edificaciones, s.f.).

Siguiendo a Manzanares (2016), generalmente los anchos más usados son de 100 y 120 cm, pero pueden llegar hasta 240 cm. Los peraltes pueden variar dependiendo de la magnitud de la carga de diseño y del claro a cubrir. Los peraltes pueden ser de 8 cm hasta 100 cm, estos últimos requieren de procesos de producción especiales y se especifican para cubrir claros de más de 20 m con cargas importantes. En México los peraltes más comunes varían de 10 a 35 cm.

El espesor de la placa va en función del claro a cubrir, relación que se establece a partir de los criterios de deflexiones, vibraciones y de la calificación de resistencia al fuego. La disposición del refuerzo puede variar para adaptarse a la luz y a las cargas sobrepuestas de cada proyecto en particular. El diámetro de los alambres o torones varía entre 4 mm y 12.7 mm (Titán Edificaciones, s.f.).

Figura 14. Sección transversal de una placa alveolar



Fuente: Titán Edificaciones (s.f.)

Manzanares (2016), dice que:

El acero utilizado en las placas alveolares es superior en resistencia y comportamiento a aquel utilizado en el concreto reforzado, con esfuerzo de fluencia de 17,000 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente. Asimismo, debido a la naturaleza de los procesos de producción y de las cargas de servicio el

concreto utilizado debe ser de alta calidad y resistencia. La resistencia mínima a la compresión del concreto es de 350 kg/cm<sup>2</sup> pudiendo llegar a 500 kg/cm<sup>2</sup> o más, según sean las exigencias particulares.

De acuerdo con Ansa prefabricados (s.f.), el muro alveolar, se construye a base de columnas de acero “IPR” y placas alveolares pretensadas de alta resistencia, en donde se ofrece un acabado moderno e industrial, esto ofrece una instalación económica y práctica.

Es un sistema constructivo eficiente y sustentable que permite mayor rapidez de ejecución y seguridad de obra. Tienen una amplia gama de usos como por ejemplo en edificios, viviendas, hospitales, escuelas, plantas industriales, puentes, hoteles, comercios y otras infraestructuras.

Las placas alveolares también pueden utilizarse como muros divisorios, elementos de cerramiento, fachada o incluso muros estructurales variando la junta longitudinal o llave de cortante a una junta machihembrada (Titán Edificaciones, s.f.).

Siguiendo a Manzanares (2016)

Las placas alveolares son elementos de concreto muy versátiles, capaces de adaptarse a diferentes proyectos, con diversas formas y exigencias, garantizando al usuario final seguridad, en cuanto a sus capacidades de carga y resistencia; economía, debido a sus altos rendimientos en obra y a la rapidez de instalación; eficiencia estructural, dado que se pueden cubrir grandes claros con menores peraltes; propiedades estéticas; excelente acabado, capaz de adaptarse a diversas formas del proyecto y exigencias arquitectónicas; versatilidad estructural y arquitectónica, en vista que se puede aplicar en estructuras de concreto, acero, con muros de mampostería, estructuras prefabricadas etcétera.

El principal uso de las placas alveolares es como sistema de entrepiso o cubierta, donde trabajan por lo general como elementos simplemente apoyados en una sola

dirección. Estas placas deben proveer la capacidad para soportar las cargas verticales, además de transmitir adecuadamente las cargas horizontales resultantes de sismo o viento al sistema de resistencia lateral de la edificación (Titán Edificaciones, s.f.).

Manzanares (2016) nos menciona que de acuerdo a la posición de las placas alveolares pueden ser utilizadas de forma vertical, horizontal y de manera inclinada. Cuando son utilizadas de manera horizontal se utilizan en la construcción de techumbres y entre pisos y pueden ser aplicadas en:

- a. Centros comerciales, Edificios, Estacionamientos, Estacionamientos subterráneos, Graderías y tribunas, Puentes y pasarelas, Techos horizontales, Edificios residenciales, Mezanines, Tapas para tanques de retención de agua, Muelles, Puentes vehiculares y pasarelas, Andenes, Naves industriales.

Al usarlos en elementos verticales su aplicación se extiende a:

- Muros de cerramiento, Muros divisorios, Bardas, Tanques de retención de agua, Muros de contención de tierra, Recubrimiento de taludes.

Cuando utilizamos las placas en un plano inclinado las aplicamos básicamente en:

- Rampas vehiculares y techos inclinados. (Manzanares, 2016).

Entre las especificaciones de las placas alveolares esta que cuentan con una resistencia de concreto de  $f'c=400 - 450 \text{ kg/cm}^2$ , concreto con revenimiento cero y el acero de preesfuerzo tiene  $fpu=16,000 - 17,500 \text{ kg/cm}^2$ . La capa de compresión tiene una resistencia de concreto de  $f'c= 225 - 250 \text{ kg/cm}^2$ , y su acero de refuerzo tiene una resistencia de  $f'y=5,000 \text{ kg/cm}$ .

## 2.3 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LAS PLACAS ALVEOLARES

Las placas alveolares son un elemento monolítico pretensado o armando, con un canto total constante, dividido en una placa superior e inferior, denominadas alas, unidas por almas verticales formando así alveolos como huecos longitudinales en la sección transversal, que es constante y presenta un eje vertical simétrico.

Los bordes longitudinales de las placas sirven para crear una llave a cortante, estos bordes son provistos con un perfil longitudinal, mismos que sirven para transferir el esfuerzo vertical a través de las juntas entre piezas contiguas. Las juntas tienen que funcionar como juntas horizontales a cortante para el efecto diafragma.

La placa alveolar con su diseño óptimo, su gran rigidez y capacidad de carga, constituye la losa por excelencia para cubrir claros de 4 a 12 m y con bajos consumo de acero y concreto (Cemposa, s.f.).

Entre sus características fundamentales se encuentra la óptima utilización de la capacidad de los materiales como acero de preesfuerzo ( $f_{pu} = 190 \text{ kg/mm}^2$ ) y concreto de alta resistencia con  $f'c \geq 350 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días (Cemposa, s.f.).

Las placas alveolares son losas de fácil transportación y almacenamiento además de ser fáciles de montar en obra, presenta excelentes propiedades térmicas, acústicas y de resistencia al fuego, reducen costos en tiempo y construcción.

Uno de los usos de las placas alveolares es como entrepisos en centros comerciales, oficinas, estacionamientos, industrias, viviendas, fachadas y muros, utilizadas de esta forma presentan grandes ventajas económicas y de seguridad.

Son fabricadas con materiales de alta resistencia y con un estricto control de calidad, lo que lo hace imposible conseguir "in situ". Los elementos se pueden usar actuando de forma conjunta con una capa de compresión. El ancho de las placas alveolares es de 1.2 m y es fijo; la longitud de la losa depende de la obra debido a que se cortan a la medida. La losa alveolar pretensada es ideal por su ligereza, por su rigidez y por su gran capacidad de carga.

## 2.4 VENTAJAS DE LAS PLACAS ALVEOLARES

Las placas alveolares representan uno de los elementos prefabricados de hormigón donde más se destacan las ventajas de la construcción industrializada, al ser una solución que puede llegar casi a eliminar la ejecución in situ (Andace, s.f.).

El uso de placas alveolares como sistema de entrepiso conlleva a diferentes ventajas, muchas de éstas propias del concreto prefabricado y preesforzado, y otras del elemento en sí (Titán Edificaciones, s.f.).

- Mínimo desperdicio. Son producidas a la medida de cada proyecto con maquinaria automatizada bajo estrictos controles de calidad que aseguran el mínimo desperdicio de material.
- Bajo peso. Las perforaciones longitudinales continuas o alvéolos reducen de manera importante el peso del entrepiso, lo cual se traduce en menor peso de la estructura y por lo tanto reducción en los costos de la cimentación, de las columnas y de las vigas.
- Fácil instalación. Son rápidamente instaladas en el sitio de manera eficiente, limpia y ordenada, con mínimo equipo y mano de obra, reduciendo así los tiempos de construcción.
- Eliminación de encofrados o apuntalamiento. No requieren cimbra de contacto o encofrado. Además, Proveen una plataforma segura y disponible inmediatamente después de instaladas para continuar con el resto de las actividades de obra.

- Luces grandes. Las placas alveolares pueden acomodarse a grandes luces, resultando en amplios espacios libres de columnas. Pueden alcanzarse luces hasta de 9.5 m.
- Flexibilidad en el diseño. Las placas alveolares pueden usarse en combinación con otros materiales de construcción incluyendo: muros de mampostería, muros o vigas de concreto prefabricado o in situ, concreto preesforzado o vigas de acero.
- Alta capacidad de carga. Proveen la eficiencia de un miembro preesforzado en cuanto a capacidad de carga, rango de luces y control de deflexiones, manejando cargas pesadas como las requeridas en centros comerciales, parqueaderos, oficinas, apartamentos o almacenes, con espesores mínimos.
- Durabilidad. El concreto y acero utilizado para la producción de las placas son de alta resistencia y cumplen con los estándares de calidad requeridos, asegurando una mayor durabilidad.
- Resistencia al fuego. Dependiendo del espesor de la placa y el recubrimiento del refuerzo, la resistencia al fuego puede llegar hasta 4 horas.
- Aislamiento acústico. Las placas alveolares reducen la transmisión de ruido y pueden cumplir con diferentes requerimientos de aislamiento acústico para diferentes tipos de ocupación.

- Servicios. Los alvéolos en las placas pueden ser usados como ductos de servicios para ocultar tuberías, cables eléctricos o telefónicos. Normalmente, las perforaciones son realizadas en fábrica durante el proceso de producción (Titán Edificaciones, s.f.).
- Altos estándares de calidad. La fabricación de placas alveolares es un proceso industrializado en el cual se utilizan materiales de alta resistencia y se llevan a cabo exhaustivos controles de calidad.
- Elevados rendimientos en obra. Al no requerirse mano de obra altamente calificada para su instalación, el uso reducido de personal (3 o 4 personas para instalación), la autoportancia y los grandes claros que se logran cubrir (8 – 14 m, claros típicos), hacen que se puedan instalar una gran cantidad de metros cuadrados por jornada de trabajo (400 – 600 m<sup>2</sup> en condiciones de trabajo normales).
- Sistema versátil. El sistema se puede adaptar a infinidad de formas arquitectónicas que pueda tener el proyecto, en vista que se pueden realizar los cortes y ajustes necesarios en planta de producción o en obra para tal fin.
- Posibilidad de prescindir del firme de concreto. El PCI a través de su manual para diseño de losas con placas alveolares, permite excluir el uso de un firme de concreto y propone alternativas de conexiones a cortante para permitir que el sistema de losa pueda actuar como un diafragma rígido.
- Excelente acabado final. Cuando se requiere que la losa quede vista, las placas alveolares debido a su proceso de fabricación presentan un excelente acabado que es atractivo a la vista, en la mayoría de los casos no requiere

ningún retoque: sin embargo, hay quienes gustan de aplicarles alguna capa de pintura (Manzanres, 2016).

- Mayor grado de prefabricación, más industrialización del forjado:
  - ❖ Rapidez de ejecución, elementos que pueden instalarse incluso directamente desde la caja del camión, sin necesidad de acopio en obra;
  - ❖ Sencillez constructiva;
  - ❖ Precisión dimensional;
  - ❖ Mejores acabados;
  - ❖ Minimiza el error humano, al limitar enormemente las tareas de ejecución en obra;
  - ❖ Productos industriales: el control en obra se puede limitar a una verificación documental (no hay necesidades de realizar numerosos controles de recepción y ensayos para verificar las condiciones de los materiales con que se ejecutan los forjados de forma tradicional).
- Posibilidad de prescindir de las sopandas (menores medios materiales necesarios, ejecución más ágil).
- Solución prefabricada de forjado con un mayor rango de aplicaciones (luces pequeñas: forjados sanitarios, edificación residencial; luces grandes: otros tipos de edificaciones, luces hasta 20 metros aprox.)
- Versatilidad: ya hemos indicado que es un elemento que encaja en numerosas aplicaciones constructivas:
  - ❖ Colocación en posición horizontal: por la gran luz que puede alcanzar y las fuertes cargas que es capaz de soportar, unido a su facilidad de montaje, puede utilizarse en pasos para tráfico. Gracias a la seguridad ante la fisuración que le confiere el pretensado, es adecuada ambientes agresivos por lo que es una magnífica opción para cubrir

- depósitos y canales, construir graderíos y tribunas, realizar obras marítimas e industriales, entre otros.
- ❖ Colocación en posición inclinada: para formar faldones de cubierta, tanto en dirección de la pendiente como perpendicular a ella; construcción de escaleras y rampas, entre otros.
  - ❖ Colocación en posición vertical: realizar grandes cerramientos; paredes de depósitos y silos; resolver muros, tablestacados y pantallas para contención de empujes, entre otros (Andace, s.f.).
- Eficiencia en la utilización de los materiales: requiere hasta un 45% menos de hormigón y un 30% menos de acero que las formas convencionales de construcción maciza.
  - Ofrecen un entorno de trabajo seguro y saludable.
  - Ecológicas, menor cantidad total de residuos y menor consumo de energía primaria.
  - Más seguridad en zonas de actividad sísmica (Corblock, s.f.).

Todas estas ventajas traen como consecuencia menores costos totales de los proyectos (materiales, mano de obra, y financieros) cuando se compara con sistemas tradicionales de entrepiso (Titán Edificaciones, s.f.).

## **2.4 PLACAS ALVEOLARES PARA MUROS DE CONTENCIÓN**

La Placa Alveolar es una nueva tecnología constructiva utilizada en losas para cubiertas, entrepisos y muros, que consiste en una placa prefabricada y pretensada, con espacios de aire, llamados alveolos, longitudinales intermedios, de ancho constante, unidireccional, que funciona como una losa aislada o compuesta, con

juntas laterales transmisoras de esfuerzos a placas adyacentes. Entre los componentes de su sistema está la placa extruida pretensada, el firme o capa de compresión y la posibilidad de uso de acero adicional para la transferencia de esfuerzos.

Entre sus aplicaciones como ya se ha mencionado, está la losa de entrepiso y cubierta con claros de entre 4 a 14 m., pasarelas y pequeños puentes, cubiertas de depósitos y canales, tapas de cimentación, graderíos y tribunas, obras hidráulicas e industriales, todos estos usos para el caso de su posición horizontal. Cuando las placas alveolares son colocadas en posición inclinada pueden tener uso como cubiertas faldones de cubiertas o como escaleras y rampas. En el caso de colocarlas en posición vertical se pueden utilizar como muros para naves industriales y comerciales, muros de edificios de alta seguridad y ornamentales, muros de depósitos y silos, muros de gran altura y muros de contención y tablestacados.

En México los peraltes más utilizados están entre los 10 a 35 cm. Utilizados en una gran variedad de obras como centros comerciales, centros educativos, rampas vehiculares, estacionamientos, muros y otras edificaciones en México. El acero de preesfuerzo depende de las cargas que la placa soportará. Muchos fabricantes en América Latina utilizan acero de preesfuerzo en la parte superior de la placa para el control de la contraflecha y disminuir los riesgos de agrietamiento por tensiones en el concreto durante el manejo, transporte y montaje de las placas alveolares, comúnmente el acero de preesfuerzo consiste en alambres.

Para el caso de este trabajo de investigación nos enfocaremos en el uso de las placas alveolares como muros de contención, en la siguiente tabla se muestran especificaciones de las placas alveolares en el uso como muros de contención de IVIPROCOSA (s.f.).

Las placas alveolares de 16 cm a 30 cm de canto se fabrican variando la junta longitudinal para ser utilizadas como muro de contención de tierras o como elemento de cierre o compartimentación en colocación vertical u horizontal.

Tabla 1. Especificaciones de las Placas Alveolares como muros de contención.

<b>PLACA ALVEOLAR AL M</b>					
<b>TIPO</b>	<b>PERALTE (cm)</b>	<b>CLARO MÁXIMO</b>		<b>PESO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>m<sup>3</sup>/m</b>
		<b>Hor (m)</b>	<b>Ver (m)</b>		
<b>AI M 15</b>	15	6	9	260	0.109
<b>AI M 20</b>	20	7	10	308	0.114

Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

Tabla 2. Apoyos Mínimos

<b>PLACA ALVEOLAR AL M</b>					
<b>Apoyos Mínimos</b>					
<b>Vel. Viento= 85 km/hr W V 60= kg/m<sup>2</sup></b>			<b>Vel. Viento= 100 km/hr W V 100= kg/m<sup>2</sup></b>		
<b>h (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>e (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>e (cm)</b>
<b>150</b>	40	40	150	50	50
<b>175</b>	40	40	175	50	60
<b>200</b>	40	50	200	50	60
<b>225</b>	50	50	225	60	60
<b>250</b>	50	50	250	60	60

Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

h= altura (Placa sobre nivel cero)

b= base de la zapata

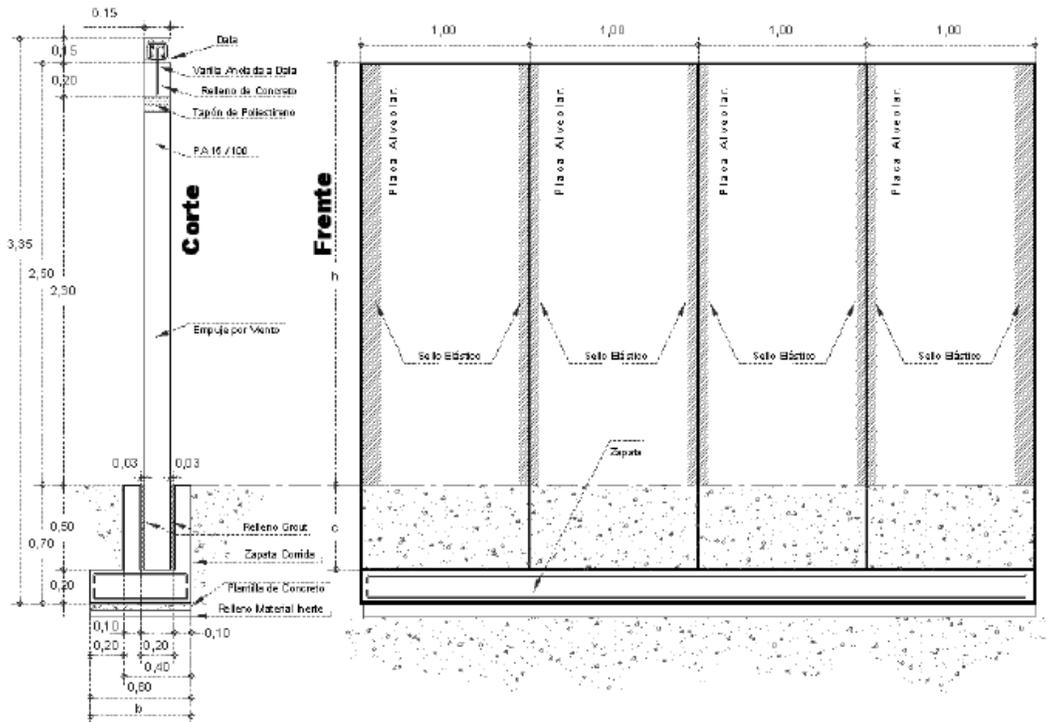
e= empotramiento en el piso

Los muros de contención con placas alveolares, son prefabricados puestos en obra con la posibilidad de incorporar otros elementos prefabricados o ejecutados en obra. La forma de colocar las placas alveolares se monta directamente sobre las trabes o muros sin necesidad de apuntalar para las cargas de peso propio.

Las placas alveolares siempre se revisan para las condiciones de carga para que son propuestas.

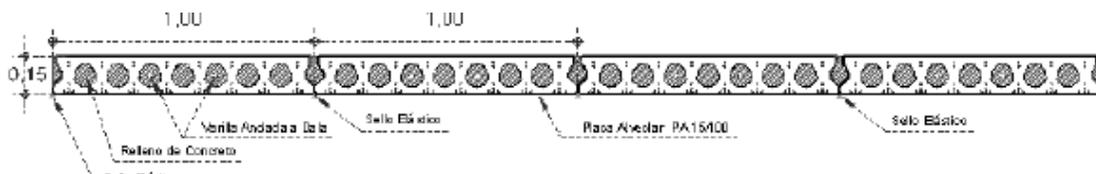
En las siguientes imágenes se presentan dos ejemplos, el primero de ellos es el ejemplo de un muro construido con placas alveolares en posición vertical y el segundo muro construido con placas alveolares en posición horizontal, además de su vista en planta.

Figura 15. Muro con Placas Alveolares en posición vertical



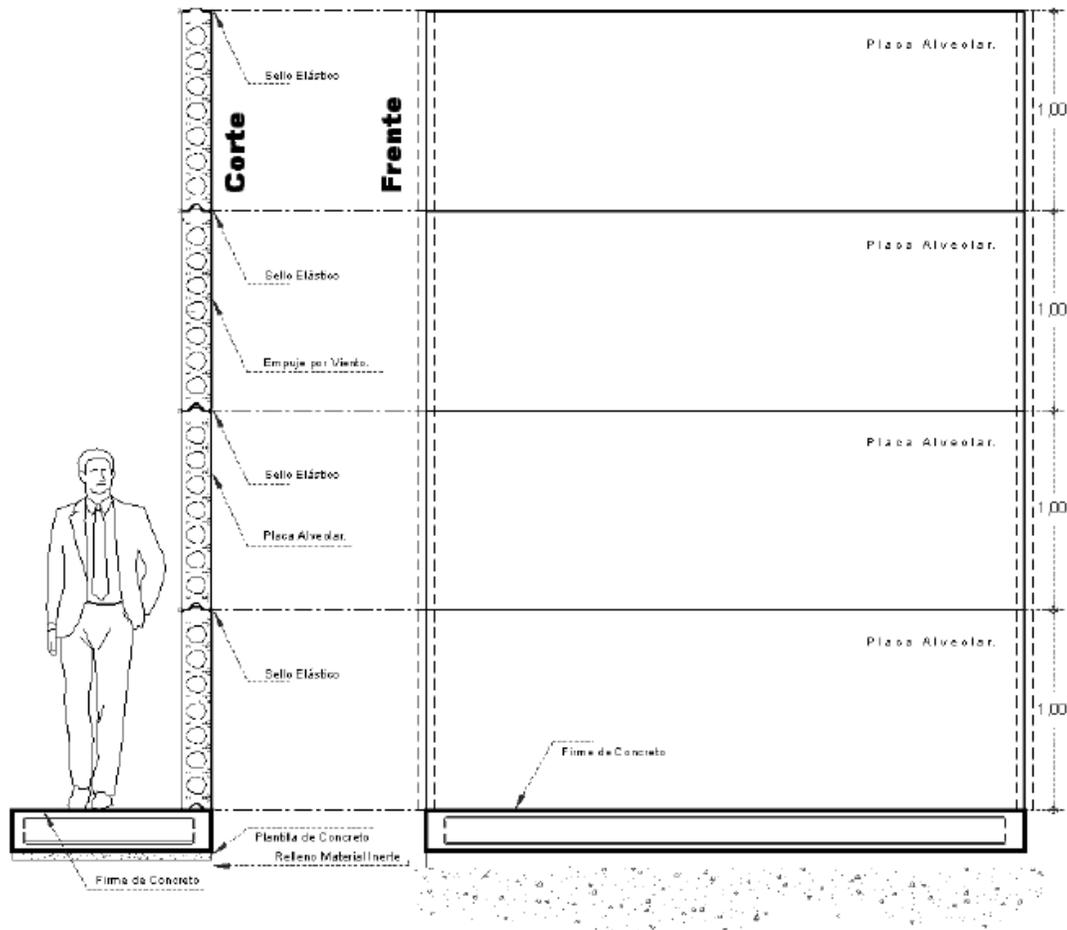
Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

Figura 16. Vista en planta de un muro vertical



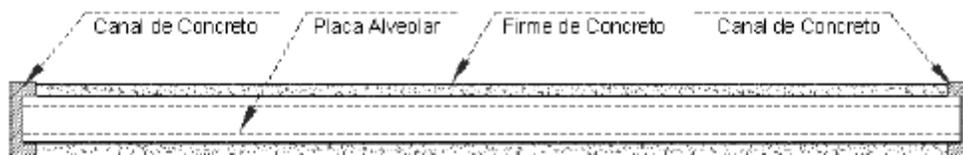
Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

Figura 17. Muro con Placas Alveolares en posición horizontal



Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

Figura 18. Vista en planta de un muro horizontal



Fuente: IVIPROCOSA (s.f.)

Las losas alveolares están diseñadas para ser montadas de manera sencilla y rápida, para acortar los tiempos en construcción.

Se requiere que los apoyos estén perfectamente nivelados para evitar concentraciones de esfuerzo en algún punto que pueda provocar la ruptura de alguna placa, en algunas ocasiones se hace uso de materiales de apoyo como bandas finas de neoprenos, bandas de poli estireno de alta densidad o papel asfáltico, esto con el fin de garantizar que el apoyo sea en todo el ancho de la losa y que el esfuerzo sea distribuido de manera homogénea, pero la solución más común es usar un mortero de nivelación.

Las losas alveolares generalmente no cuentan con acero en la cara superior, por lo que es muy probable que aparecerán grietas de tensión en la cara superior en caso de un apoyo intermedio no previsto.

Los materiales que componen a una placa alveolar son el acero de preesfuerzo y el concreto. En casos especiales y en placas alveolares de gran peralte se utiliza una armadura de acero convencional longitudinal y transversal para resistir las cargas fabricación, transporte y montaje. Una característica especial de los materiales utilizados en las placas alveolares es su alta resistencia y elaborados procesos de fabricación

# CAPITULO III. LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO.

### 3. LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO

#### 3.1 INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

La industria de la construcción está experimentando una gran transformación en todo el mundo, se comienzan a dejar atrás métodos y técnicas tradicionales para comenzar con tecnologías innovadoras que automatizan los procesos de construcción.

La industria de la construcción industrializada se ha especializado en la mecanización de las técnicas de construcción y tiene una relación directa con la prefabricación, que es la producción de elementos constructivos fuera o al pie de la obra. Cuando estos elementos constructivos son producidos en serie se dice que son industrializados, pues en su fabricación se siguen procedimientos industriales (Anelle, 2018).

Sistema de construcción industrializado, es un esquema de construcción que, mediante la adecuada planeación de las tareas y presupuesto, y una selección de equipos y materiales puede generar elevados rendimientos en obra y optimizar los recursos, sin afectar las condiciones económicas y la generación de empleo (Urdaneta, 2005 en Nova, 2010).

Con la industrialización se busca:

En obra

- Velocidad de trabajo
- Exactitud en tiempos de construcción
- Eficiencia en controles de obra
- Precisión dimensional
- Terminados perfectos

### Organización y planeación

- Planeación financiera
- Coordinación de actividades

### Costos

- Presupuestos más precisos
- Control de materiales, 100% optimización
- Mano de obra no especializada
- Anular los tiempos muertos

La industrialización no se refiere a la producción de productos nuevos, sino a la producción de cualquier producto con materiales disponibles de una forma tecnificada. La máquina es capaz de utilizar cualquier material en una forma nueva e industrial. El material no es el que determina si un producto es industrial, es la forma en la que este producto fue fabricado.

La construcción industrializada supone varias ventajas sobre la construcción tradicional, como se muestra a continuación:

Figura 19. Principales características de la construcción convencional frente a la construcción industrializada.

	<b>CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL</b>	<b>CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA</b>
<b>DEFINICIÓN</b> 	Más posibilidades de cambios a lo largo de todo el proceso	Etapas claramente definidas, empezando desde el proyecto.
<b>CALIDAD</b> 	Elementos se manufacturan y/o ejecutan en la propia obra, mayor influencia del error humano (más rechazos)	Mayor control (cada pieza tiene su destino), menor influencia del error humano (se sustituyen los albañiles por montadores: la pieza tiene su lugar).
<b>PRECISIÓN</b> 	Se admiten los errores. Las tolerancias se basan en centímetros	La precisión dimensional y espacial de los elementos es crucial. Las tolerancias se basan en milímetros.
<b>MANO DE OBRA</b> 	Dependencia casi exclusiva de la capacitación técnica de la mano de obra humana disponible	Procesos más automatizados
<b>COSTE</b> 	En origen, normalmente menor. Pero mayor riesgo de imprevistos y desviaciones económicas	Precio cerrado en proyecto
<b>LIMPIEZA</b> 	La obra es la fábrica al mismo tiempo. Muchos excedentes de materiales	Menor generación de residuos
<b>IMPACTO</b> 	Mayor tiempo y mayor necesidad de espacio para el desarrollo de todas las tareas	Menor impacto en las zonas aledañas (menores molestias causadas a las personas que habitan o transitan por ellas por ruido, cortes de tráfico, generación de polvo) y durante menor tiempo (ejecución más ágil)

Fuente: López (2019).

### 3.2 LA HISTORIA DE LA INDUSTRIALIZACIÓN EN MÉXICO

La industria de la construcción es un sector relevante para la economía de México, esta industria siempre ha estado vinculado con el desarrollo del país. La infraestructura carretera, la construcción de viviendas, supermercados, escuelas, hospitales, servicios de drenaje, agua potable, disponibilidad de energía eléctrica y muchas más son parte de los activos del país. La construcción es una industria que

tiene una importante función social, con ella se genera mayor cantidad de empleos, de los cuales se ocupa la mayor la cantidad de mano de obra no calificada del país.

El Ing. Bernardo Quintana, primer presidente de ICA, la constructora más grande del país decía cuando fundó la empresa a mediados del siglo pasado “...en México todo está por construirse”. Mucho se ha construido, pero todavía mucho está por construirse (Poo, 2003).

La doctora Poo (2003) nos dice que

La construcción fue el instrumento para la creación de ciudades como polos de desarrollo (Cancún, Huatulco, las ciudades fronterizas, las portuarias, etc.), el sistema carretero que tenemos actualmente es producto del esfuerzo de muchos constructores del país, ayudó de manera creciente a la urbanización de las ciudades y ha dotado de vivienda a la población mexicana en varios niveles, así como de servicios municipales, entre muchas otras acciones (pp.121).

La industrialización de los materiales no ha logrado imponerse del todo en nuestro país a pesar de que esto supone ventajas constructivas respecto de muchos sistemas tradicionales.

La construcción industrializada es la mecanización de las técnicas de construcción y tiene una relación directa con la prefabricación, que es la producción de elementos constructivos fuera o al pie de la obra. Cuando estos elementos constructivos son producidos en serie se dice que son industrializado, pues en su fabricación se siguen procedimientos industriales.

La construcción industrializada conlleva una serie de ventajas que permiten construcciones rápidas, con mayor calidad y costos menores.

La prefabricación en la construcción aparece desde la antigüedad: la utilizaron los egipcios, al igual que los romanos, los mayas, etcétera. También el concreto es un material utilizado desde épocas remotas, pero hubo que esperar hasta 1867 para que un jardinero francés, de nombre J. Monier, patentara lo que posteriormente

sería el concreto armado. Edmond Coignet inició en 1892 la prefabricación en concreto armado al fabricar viguetas para un casino en Francia (Martínez, 1998). Estas nuevas formas de construir ya mostraban ventajas y en 1902 Christophe decía que

El procedimiento de fabricación de vigas en un taller puede ser más económico que el colado en obra; da la posibilidad de ensayar todas las piezas antes de su colocación; la construcción de un entrepiso se hace más fácil y rápidamente; este trabajo puede ejecutarse aun en mal tiempo sin que resulten retrasos; en fin, el entrepiso al ser capaz de soportar las cargas inmediatamente después de su colocación, permite que los trabajos puedan continuarse sin interrupción.

Estos son los antecedentes de la industrialización en Europa; en México las nuevas técnicas se empezaron a utilizar en 1927, cuando el ingeniero Rebolledo empleó en la construcción del hotel Regis vigas prefabricadas de concreto armado (Martínez, 1998). De esa fecha a la actualidad la prefabricación se ha ido consolidando poco a poco en nuestro país. En un inicio las técnicas eran copiadas de otros países, pero con el tiempo empezaron a surgir empresas especializadas en prefabricación de estos elementos constructivos. Dicha consolidación ocurrió en los años sesenta y principios de los setenta.

Siguiendo con Martínez, con la introducción del concreto preesforzado, la prefabricación recibió un impulso y sus aplicaciones aumentaron y se diversificaron, utilizándose en un principio en puentes y posteriormente en edificios. Con la consolidación de esta industria en nuestro país, también las empresas mexicanas empezaron a desarrollar nuevas técnicas.

En México, la construcción industrializada no se debe considerar como sustituta de la tradicional; ambas formas deben coexistir y ofrecer soluciones alternativas, según sean los requerimientos (Martínez, 1998).

El prefabricado existe desde hace mucho tiempo, pero tal parece que en México y muchas otras naciones no ha podido figurar como protagonista de la industria de la construcción debido a causas culturales.

El progreso tecnológico es sin duda un factor importante en el avance de la construcción industrializada, lo cual, en países como México al ser un país en desarrollo, los constantes problemas económicos, el alto índice de desempleo, la falta de mano de obra especializada, son algunas de las causas que ha enfrentado el desarrollo de esta industria.

El ingeniero Huelsz Noriega, señala que fue a partir del año 2000 que la balanza se empezó a inclinar a favor de los prefabricados, “aunque de manera moderada”, apunta. Aunque los materiales prefabricados no se han logrado consolidar en México, Huelsz nos menciona que,

Hay que decir que un hito importante de la prefabricación fue la primera parte del segundo piso, aunque previamente ya se habían realizado obras de gran envergadura, como las traveses tipo ballena colocadas en Querétaro. En realidad, el segundo piso ayudó a que este tipo de sistema constructivo se consolidara y se colocara en un muy buen lugar; ello, a pesar de que hubo muchas opiniones en contra debido a la complejidad de las condiciones de montaje (pp.48).

Otra obra digna de destacar es la terminal 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que cuenta con varios elementos prefabricados, no estructurales ni tampoco de vías terrestres, aplicados en las fachadas.

### **3.3 LA ACTUALIDAD DE LOS SISTEMAS PREFABRICADOS EN MÉXICO**

Cemex logro edificar seis unidades médicas en tan solo dos semanas en diversas entidades mexicanas. Lo cual fue posible gracias al uso de módulos prefabricados con una singularidad más, ser de concreto antibacterial de alta durabilidad.

De esta manera los sistemas prefabricados en la construcción se convierten en otro medio de emergencia sanitaria impuesto por la pandemia del virus denominado Covid-19.

La construcción de estas seis unidades médicas supondría un estimado de construcción de 120 días, los cuales fueron acortados a 15 días gracias al uso de los sistemas de construcción prefabricados.

“Estamos hablando de hospitales móviles inteligentes con un diseño innovador y al mismo tiempo durables, hechos con elementos de concreto prefabricado que permite acelerar el proceso constructivo... Con esta solución, se consigue un costo por cama muy bajo y con equipamiento muy completo, en comparación con las instalaciones tradicionales”, detalló en un comunicado Alejandro Varés, vicepresidente de Infraestructura y Gobierno de CEMEX México.

La Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación (Anippac) apenas suma poco más de 30 socios y del total de la construcción en el país, los prefabricados no llegan ni al 10 %, mencionó Rafael Barona, líder de la empresa de prefabricados Humábitat, en entrevista con Obras (Nieto, 2020).

El director de Humábitat admitió que el costo de los sistemas prefabricados puede ser 5% más alto que el tradicional, pero aseguró que se compensa a través de una entrega mucho más rápida.

Explica como reduce el tiempo de construcción y entrega con el uso de materiales prefabricados lo que significa un ahorro en todos los sentidos, por ejemplo, al reducir gestiones de obra y tiempo de pago de intereses a instituciones de financiamiento y en la posibilidad de colocar más rápido los prefabricados.

Además de plantear módulos prefabricados como área hospitalaria, Humábitat también ha concebido los módulos prefabricados para resolver el tema de escasez de vivienda. “La idea nace hace tres años para generar una vivienda económica, desde 170,000 pesos, de una superficie de construcción de 36 m<sup>2</sup> pero de 72 m<sup>2</sup> habitables, contando la azotea”, además de la posibilidad de expandirse de acuerdo a los requerimientos y capacidad del propietario (Nieto, 2020).

De esta forma, se hace más incuestionable que la construcción en México requiere de un mayor grado de industrialización para garantizar una mayor eficiencia en los procesos constructivos, un control más riguroso de obra, generar una menor cantidad de residuos, menores tiempos en construcción, aumento en la seguridad laboral y menores costos en construcción.

### **3.4 LAS PLACAS ALVEOLARES EN MÉXICO**

Las placas alveolares son elementos prefabricados de concreto muy versátiles, pueden adaptarse a distintos tamaños y formas para los distintos proyectos a los que se les solicite, garantizando la capacidad en resistencia y seguridad, además de las ventajas económicas, de rendimiento de obra y su rapidez de instalación. Son utilizados en una gran variedad de obras como sistemas de entrepiso, cubiertas de techo, muros de contención, puentes, graderías por mencionar alguno de sus usos.

En los últimos años en México se ha extendido en gran medida el uso de las placas alveolares en aplicaciones ingenieriles y arquitectónicas, siendo la ANIVIP y sus asociados pioneros en su desarrollo, distribución y difusión.

En México el uso de las placas alveolares sucede en los estados del norte y centro del país. Entre las construcciones que podemos mencionar en los que se hace uso de las placas alveolares en sus distintos usos dentro de México son la Torre Altreca en Monterrey, Nuevo León, la Torre Audire en Guadalajara, Jalisco; estacionamientos como La Gran Villa en Monterrey, La Plaza Tapatía en Guadalajara; muros divisorios, fachadas y cerramientos como la Bodega de almacenamiento y venta de Productos químicos en León, Guanajuato, la Bodega Parque Tréboles en Monterrey, Nuevo León; entre otras construcciones como rampas vehiculares, edificios residenciales, bardas, edificios educativos, aplicaciones en edificios con estructura metálica y estructuras de retención de agua.

A continuación, se presentan una serie de fotografías de las diversas aplicaciones de las placas alveolares en la construcción en general, construidos en México y con la participación de los socios de la ANIVIP.

Figura 20. Torre Altreca, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 21. Torre Audire, Guadalajara, Jalisco.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 22. Estacionamiento La gran villa, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 23. Estacionamiento HU, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 24. Deportivo del Estado de Guanajuato, León, Guanajuato.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 25. Estadio Narajeros, Hermosillo, Sonora.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 26. Bodega de almacenamiento y venta de Productos químicos, León, Guanajuato.



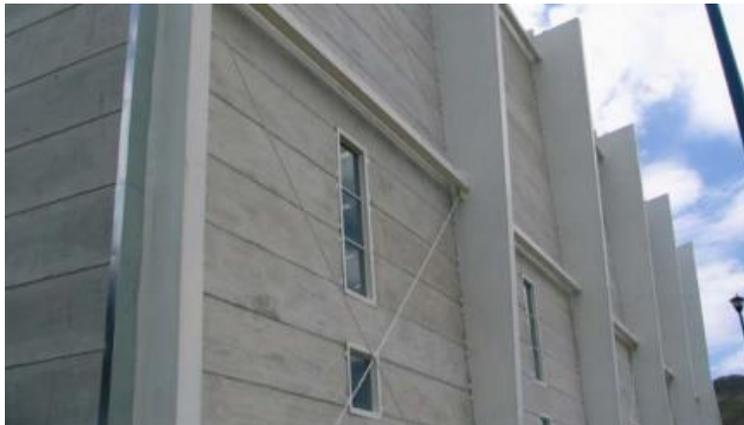
Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 27. Bodegas Parque La Puerta, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 28. Centro acuático del Estado de Guanajuato, Guanajuato.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 29. Centro acuático del Estado de Guanajuato, Guanajuato.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 30. SEPAL, oficinas administrativas, León, Guanajuato.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 31. Proyecto Alpino Chipinque, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 32. Torre Gaia, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 33. Proyecto Centro City, Guadalajara, Jalisco.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 34. Edificio de Aulas Medicas UANL, Monterrey, Nuevo León.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 35. Edificio de Aulas Instituto Politécnico Nacional Reynosa, Tamaulipas.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

Figura 36. Estructura de retención de agua.



Fuente: ANIVIP (s.f.)

# CAPITULO IV. METODOLOGIA

## 4. METODOLOGÍA

La construcción debe ofrecer seguridad, satisfacción y confort, entonces aparece la dualidad entre la cantidad y el costo de la obra, ya que se trata de encontrar un punto de equilibrio que permita obtener dentro de un nivel aceptable de calidad constructiva y costos mínimos.

Sin duda, este punto de equilibrio es el empleo de elementos prefabricados como parte de la industrialización. Principalmente en los prefabricados de concreto, la cual presenta ventajas claras en costos y tiempo en obra.

En los países en desarrollo estos sistemas constructivos con elementos prefabricados no suelen ser muy comunes a pesar de las claras ventajas que presentan. Los países desarrollados, en comparación, tienen generalmente sistemas económicos de acuerdo con el crecimiento continuo que presentan, incentivan el desarrollo económico de sus sectores y sobre todo poseen altos estándares de vida.

El término de países en desarrollo se refiere al grado de desarrollo económico. Estos países son generalmente aquellos que no han logrado un nivel significativo de industrialización relativa a sus poblaciones.

México se encuentra dentro de la lista de los países en desarrollo de acuerdo al Fondo Monetario Internacional (FMI) en su informe de las Perspectivas para la Economía Mundial, abril de 2008.

En la industria de la construcción existe la necesidad creciente de realizar obras con costos aceptables optimizando igualmente el tiempo en construcción. La industria de la construcción debe ser capaz de hacer frente a este reto de poder ofrecer calidad constructiva y costos bajos.

Esto puede ser posible mediante la adaptación de sistemas constructivos prefabricados como lo son las placas alveolares. Los cuales constituyen un procedimiento económicamente viable además de reducir los tiempos en obra.

El uso de placas alveolares como muros de contención suponen una mejora constructiva en la retención de tierras al disminuir costos y tiempo en construcción, además de ofrecer durabilidad y otras ventajas que lo hacen un producto con mayor proyección hacia el futuro en materia de construcción.

Este sistema constructivo tiene una potencialidad enorme de aplicación en diversos proyectos dentro de México para así disminuir costos y tiempo en obra ofreciendo una gran calidad constructiva.

A continuación, se presenta una comparativa en materiales, proceso constructivo, equipo y personal necesario y costos en muros de contención de distintos tipos, con lo cual este trabajo de investigación pretende demostrar como la implementación de placas alveolares para muros de contención es una mejor opción de construcción al tener ventajas sobre los muros de contención tradicionales como lo son el muro de concreto armado, el muro de mampostería y el muro de block.

#### **4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO**

Los procesos constructivos están, en general, poco estudiados, y esto lleva a un gran desperdicio de recursos, tanto humanos como materiales, a un incremento innecesario de los riesgos y a una calidad inadecuada del producto final, en nuestro caso la obra de edificación (Martí, 2002 en Novas, 2010).

Todo procedimiento constructivo está influenciado por 3 factores principales, como lo son la mano de obra, los materiales y los equipos o maquinarias.

La mano de obra ocupa un lugar muy importante en la planificación de la ejecución de la obra, pues, de ella depende el rendimiento y la rapidez en los trabajos de construcción (Meza, 1979 en Nova, 2010). La mano de obra es estimada de acuerdo al procedimiento constructivo que se usará, la cual es determinada en la planificación, de igual manera se determina la cantidad y calidad de la mano de obra

requerida en la ejecución de cada etapa de la obra lo que incluye en algunos casos la mano de obra especializada.

La cantidad y tipo del equipo y maquinaria que se utilizará en cada etapa del proyecto está determinado por el procedimiento constructivo a emplear en la ejecución de una obra. Utilizar equipo mecánico en la construcción, incide en una reducción en los tiempos de ejecución y permite cumplir con los trabajos en el tiempo previsto.

Los sistemas constructivos pueden ser clasificados de acuerdo a las características y la situación en las que serán usados. Para elegir el sistema constructivo a utilizar se debe tomar en cuenta el tipo de financiamiento, necesidades del usuario y el tipo de obra a ejecutar.

## **4.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Los materiales, la elección del material está condicionada por los siguientes factores: cualidades estéticas apropiadas, aptitud para el trabajo que ha de soportar, resistencia a los agentes agresivos y el costo, hasta quedar recibido en obra (Nova, 2010). De igual forma se debe tomar en cuenta el presupuesto para la obra, la accesibilidad del material, las características del lugar donde se ejecutará la obra, etc. La selección del material debe ser tomando en cuenta todos los aspectos ya mencionados.

Sin adentrarnos en las características de los materiales, es de gran interés hacer notar la influencia del material seleccionado para el proyecto dentro del análisis a realizar.

## **4.3 EQUIPO Y PERSONAL NECESARIO**

En todo proyecto a ejecutar es importante contar con el equipo y personal adecuado para llevar a cabo el proyecto de inicio a fin.

Algunos sistemas constructivos necesitan de pocos trabajadores en obra. La mano de obra necesaria para producir un módulo de construcción es cada vez menor y el nivel de especialización de los obreros, puede ser menor que el de aquellos empleados en la construcción tradicional, en donde el uso de artesanos ha podido ser reemplazado por el de mano de obra no especializada (Díaz, 2003 en Nova, 2010).

La asignación del personal en obra de determina a través de la integración de cuadrillas y los órdenes de trabajo. Decidir los frentes de trabajo que intervienen en una obra depende de diversos factores, entre los que se puede mencionar, la magnitud de la obra a realizar, la diversidad de los trabajos en construcción, la capacidad del personal, actividades especializadas y los procedimientos a realizar.

La integración de las cuadrillas se realiza con el fin de lograr una buena calidad de obra, reducir los tiempos de ejecución de la misma y una mayor productividad. Normalmente las cuadrillas se integran, con base a la experiencia del personal seleccionado y del encargo de los trabajos, que podrán ser modificados durante la ejecución de la obra.

#### **4.4 COSTOS**

De acuerdo con Suárez Salazar (2005), los costos también necesitan de un correcto balance entre sus especificaciones, cuantificaciones, sus bases y el análisis, es decir, el que, el cuanto y el cómo.

Suárez Salazar (2005) nos dice que:

En nuestra opinión un costo balanceado sería aquel, cuyas especificaciones, tanto gráficas como escritas definieran sin lugar a duda qué es lo que se desea construir y que dichas especificaciones permitan cuantificar, lo más exactamente posible los volúmenes de conceptos que se pretenden hacer intervenir, así como sus características detalladas, y finalmente conocidos en

que y el cuanto, se puede proceder a analizar el procedimiento constructivo y obtener el costo parcial de cada uno de dichos procesos (pp. 22).

Tener un buen conocimiento de los costos tanto de materiales, mano de obra y todos aquellos conceptos y elementos que conlleva un proyecto de construcción es muy importante, pues muestran anticipadamente los ingresos, gastos y la situación financiera que tendrá el proyecto u obra.

Los costos sirven principalmente para obtener un preliminar del costo del proyecto a ejecutar, con el fin de calcular los recursos financieros que serán necesarios para su planeación y gestión, y en segunda instancia para la ejecución y el control de la obra (Rodríguez y López, 2016).

Cuando hablamos de costos nos referimos a todos los costos generados en el proyecto, ya sean directos o indirectos.

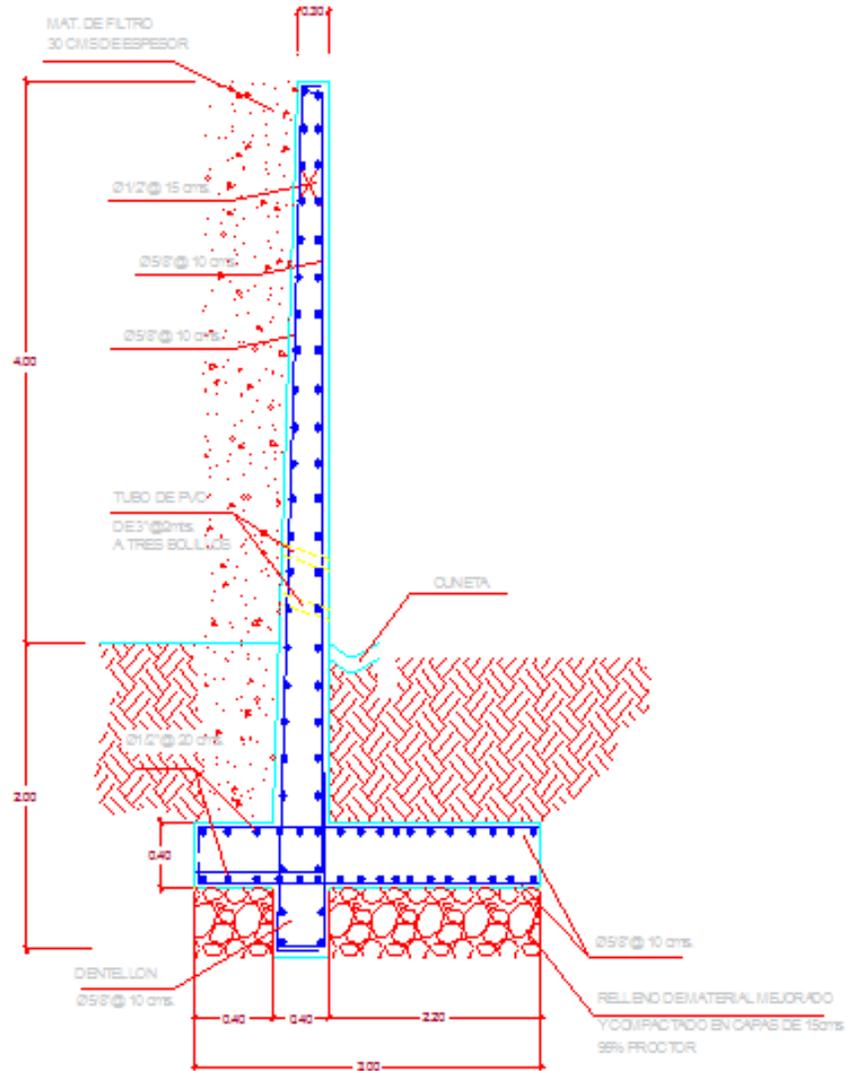
Como costo indirecto, Suárez Salazar (2005) lo define como “aquellos gastos que no pueden tener aplicación a un producto determinado”. El costo directo lo define como “Aquellos gastos que tienen aplicación a un producto determinado”. Es decir, los costos indirectos se refieren a los costos de operación y de obra, mientras que los costos directos son los costos preliminares y los costos finales. Tanto los costos directos como los costos indirectos forman parte del costo total de un proyecto de construcción.

## 4.5 CONFIGURACIÓN DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

A continuación, se presentan los diseños de los muros de contención con la configuración geométrica y de acero para realizar la comparativa objeto de esta investigación. Todos los muros a comparar fueron diseñados con la misma altura para tener una comparativa en costos de los mismos.

A partir de los resultados de la configuración de muros se realizó un presupuesto detallado de cada uno de los muros, exceptuando las actividades que fueran necesarias para todos, esto con el fin de poder realizar la comparación de costos de una manera más sencilla al comparar únicamente las actividades que corresponden a cada uno de ellos.

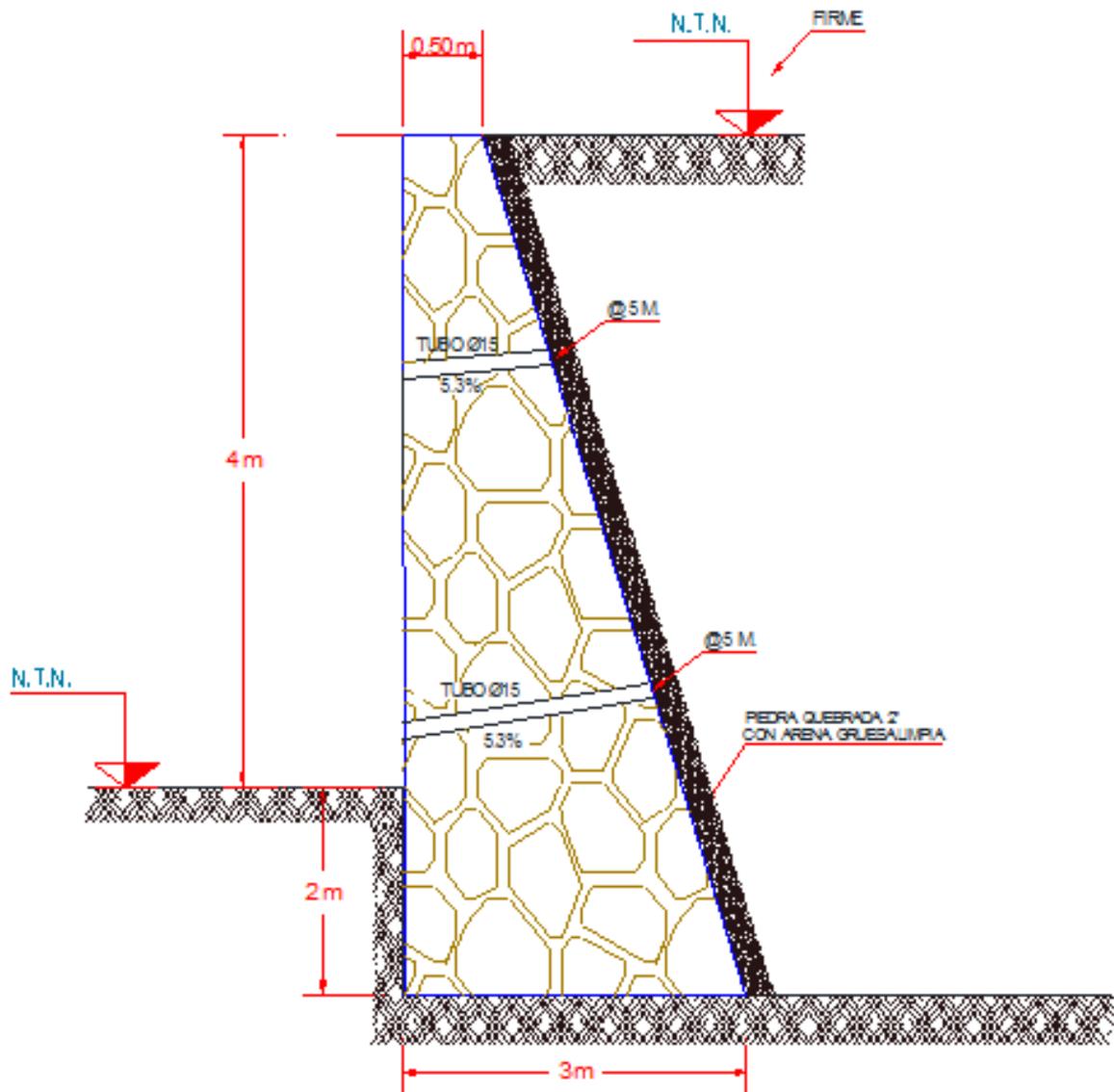
Figura 37. Muro de Contención de Concreto



Fuente: El autor.

El muro de contención de concreto presenta un costo de \$237,979.44, mismo que se presenta detalladamente con las actividades que se consideraron para su análisis en el anexo A de este trabajo de investigación. Las dimensiones consideradas para el muro de concreto son 5 m de largo, 6 m de altura total, teniendo 4 m visibles del muro, un espesor de 40 cm en el dentellón del muro y 30 cm en la parte más alta del mismo. En la siguiente figura se muestra la configuración del muro.

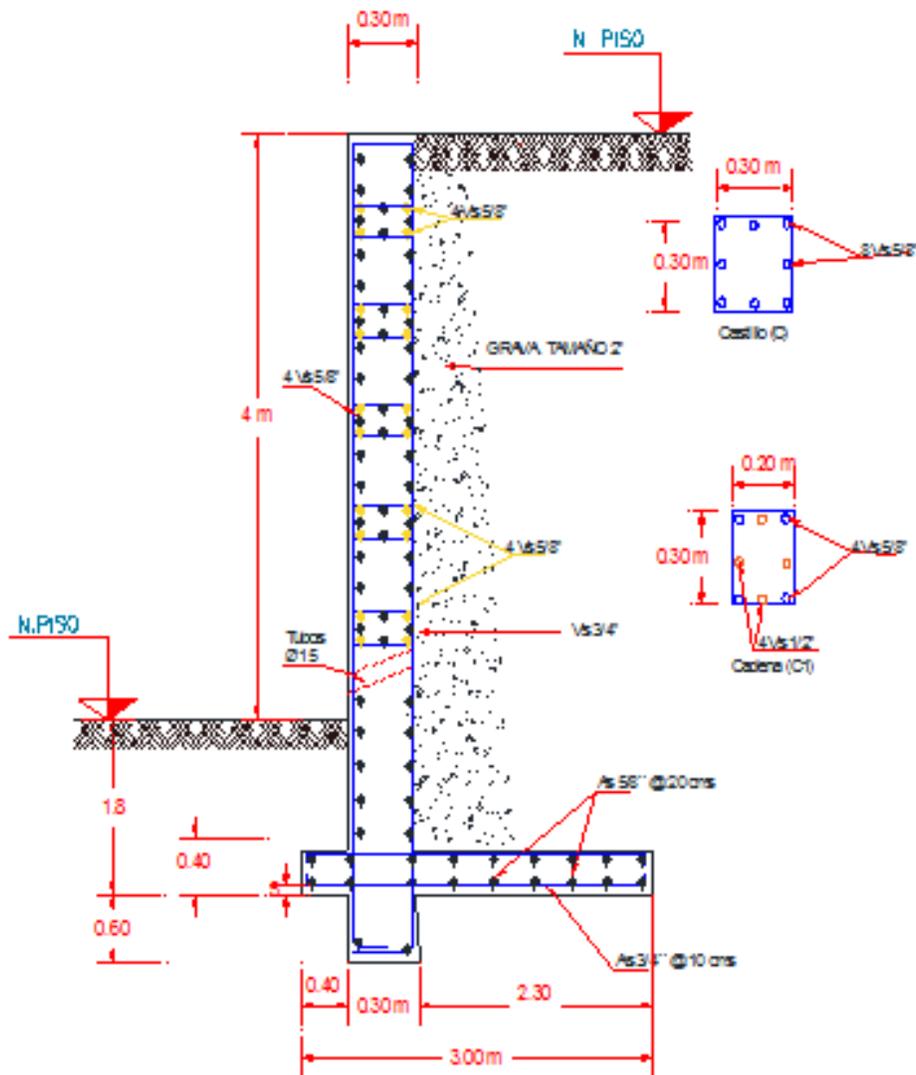
Figura 38. Muro de Contención de Mampostería



Fuente: El autor.

El muro de contención de mampostería tendría un costo de \$137,001.60. Las dimensiones consideradas para este muro son 5 m de largo, 6 m de altura total, teniendo 4 m visibles del muro, un espesor de 2.50 m en la parte inferior del muro y 50 cm en la parte más alta del mismo. El análisis de las actividades consideradas para este muro se encuentra reflejadas en la tabla No. 4 en el anexo A.

Figura 39. Muro de Contención de Block.



Fuente: El autor.

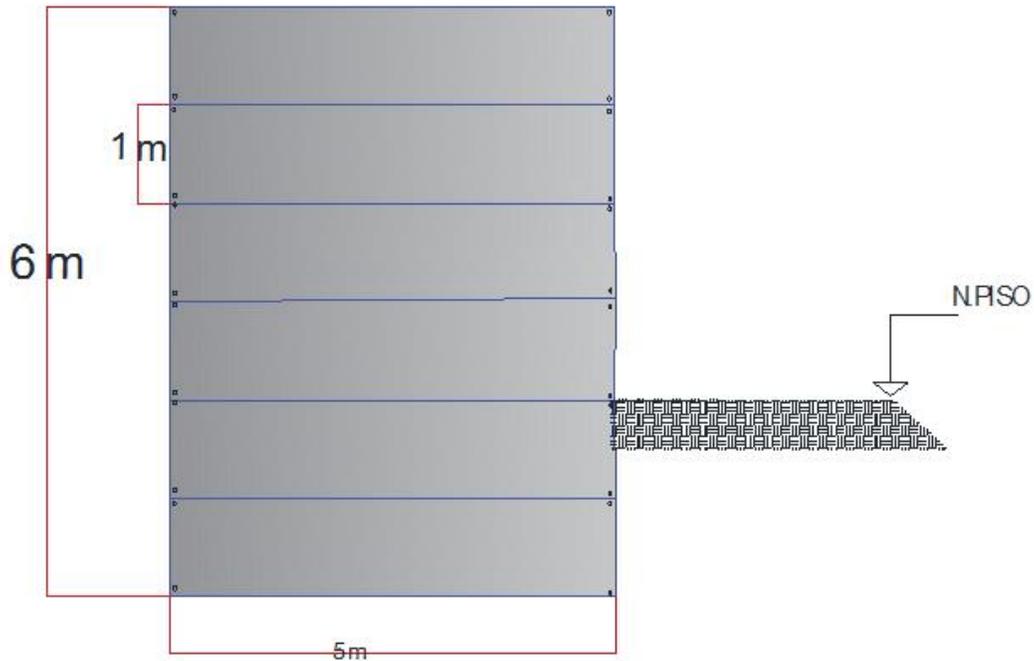
El costo del muro de contención de Block es de \$215,519.80, las actividades consideradas para este muro se encuentran en el anexo A. Las dimensiones consideradas para el muro de block son 5 m de largo, 6 m de altura total, teniendo 4 m visibles del muro, 6 columnas de 30x30 cm y 6 cadenas de 30x20 cm, armado con block de 40x20x12 cm. En la siguiente figura se muestra la configuración del muro.

El diseño del muro con Placas Alveolares seguirá la misma configuración de altura y largo que los muros anteriores para fines comparativos de esta investigación, siendo la altura de 6 m y un largo de 5 m, variando únicamente en su ancho debido a que será de acuerdo al ancho que tengan las placas.

Para el muro de contención diseñado con Placas Alveolares se realizó la cotización de las mismas con una empresa mexicana del centro del país, la empresa Presforzados Mexicanos de Tizayuca, S.A. de C.V. (PREMEX), es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de Placas Alveolares. Para el caso de este trabajo de investigación es importante mencionar que el lugar de estudio es en el estado de Chiapas, ya que esto supone un costo extra por la transportación de las Placas Alveolares, esto debido, a que en el sur del país aún no se cuenta con este tipo de materiales prefabricados.

Las placas alveolares consideradas en este diseño, son placas que tiene un largo de 5 m, un peralte de 1 m y con un ancho de 0.15 m. El concreto con el que serían fabricadas es de clase 1 con un tamaño máximo de agregado de 19 mm,  $F_c=400\text{kg/cm}^2$  y con un peso volumétrico de  $2400\text{ kg/m}^3$ . La placa tendría un armado de refuerzo con alambre de presfuerzo con un  $F_y=17,000\text{ kg/cm}^2$  y una resistencia de al menos  $150\text{ kg/m}^2$  debido a las cargas de viento. El costo total del muro con Placas Alveolares considerando el uso de grúa y de mano de obra especializada es de  $\$74,472.00$ , considerando que el lugar de colocación de las mismas es en el estado de Chiapas.

Figura 40. Muro de Contención con Placas Alveolares.

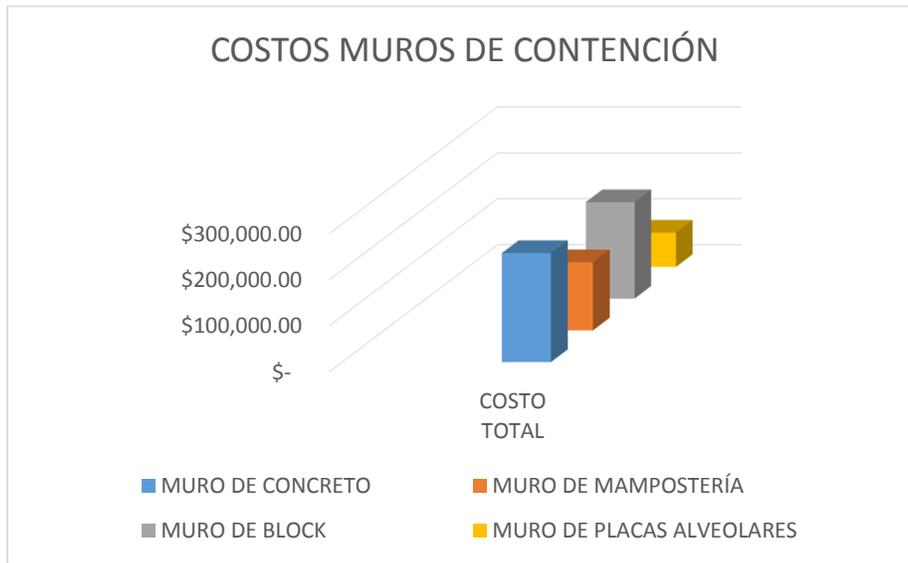


Fuente: El autor.

Para la colocación de las Placas Alveolares en el sitio de construcción es necesario el uso de mano de obra especializada y maquinaria, por el contrario, para el caso de los tres muros propuestos anteriormente para su construcción no es necesario el uso de mano de obra especializada.

En la siguiente gráfica se muestra la diferencia económica de los cuatro muros de contención propuestos con la misma altura.

Gráfica 1. Comparativa de Costos

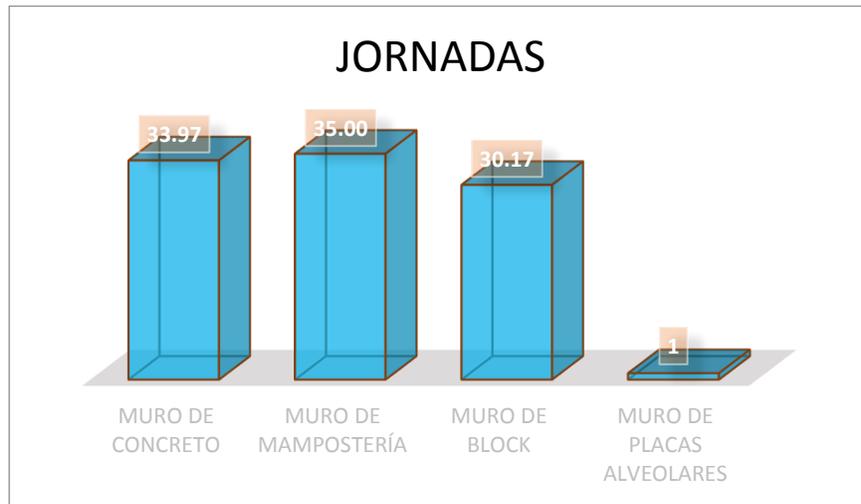


Fuente: El autor.

Los precios analizados en cada uno de los muros de contención propuestos corresponden a los precios obtenidos en el lugar y año de la realización de este trabajo de investigación, para lograr obtener una noción real de la comparativa de los precios de estos muros.

A continuación, se realizará una comparativa en cuanto a tiempo de construcción se refiere. El análisis del tiempo de construcción de cada uno de los muros se presenta en el Anexo B.

Gráfica 2. Comparación de Tiempos de Construcción.



# CAPITULO V. CONCLUSIÓN

## 5. CONCLUSIÓN.

El uso de materiales prefabricados ha revolucionado la construcción en los últimos años, estos materiales presentan numerosas ventajas sobre los materiales convencionales, por ejemplo, cuentan con mejor calidad debido a que son fabricados de manera más controlada y dosificada, lo cual permite que tengan mayor resistencia ajustando los métodos constructivos, el uso de materiales prefabricados también reducen los tiempos de ejecución en la obra dando como resultado una mejor economía a la misma ya que reducen gastos al tener un control eficiente de costo-tiempo.

Esta investigación surge con el propósito de demostrar que el uso de las Placas Alveolares para muros de contención son una mejor opción sobre los muros de contención construidos con materiales convencionales, junto al importante desarrollo que han tenido los materiales prefabricados en el extranjero y principalmente en algunos lugares de México.

El uso de Placas Alveolares en México es poco común, especialmente en la zona sur del país, este tipo de tecnología constructiva se encuentra principalmente en la zona centro y norte del mismo. El uso de estos materiales prefabricados supondría un gran avance en los métodos de construcción en la zona sur de México, trayendo pues consigo todas las ventajas constructivas que presentan. Entre las características que caben destacar de las Placas Alveolares podemos mencionar que cuentan con una gran capacidad de carga por lo que sus usos son diversos, las podemos emplear para muros de edificios de alta seguridad, muros de gran altura, losas de entre piso, tapas de cimentación, escaleras, rampas, entre otras muchos usos, de igual manera son eficientes y económicas por su costo directo, reducen desperdicios al ser un material prefabricado, es un elemento versátil y de gran ligereza por sus alvéolos interiores, son de alta capacidad contra incendios y de alto nivel térmico y acústico.

Este trabajo de investigación condujo a encontrar la ventajas y desventajas en cada uno de los casos de muros de contención comparados.

La configuración de los muros de contención presentada en el capítulo anterior arrojó resultados que junto al análisis de precios y tiempo permiten analizar las ventajas y desventajas en cada uno de los muros propuestos, en donde se puede tener una noción real de un proyecto y tomar las decisiones que beneficiaran la selección correcta del muro para un proyecto de construcción.

Para los muros de contención de concreto reforzado, mampostería y de block entre las ventajas que presentan esta la fácil accesibilidad a los materiales de construcción y no necesitan mano de obra especializada, caso contrario al hacer uso de Placas Alveolares que para esta zona del país como anteriormente se ha mencionado, son de difícil acceso debido a que son fabricadas únicamente en el norte y centro del país, además de necesitar mano de obra especializada para su colocación.

Para el caso específico del muro de mampostería tiene la ventaja de presentar costo menor frente a los muros de concreto reforzado y de block, otra ventaja que presentan este tipo de muros son los materiales de mayor acceso y mejor trabajabilidad.

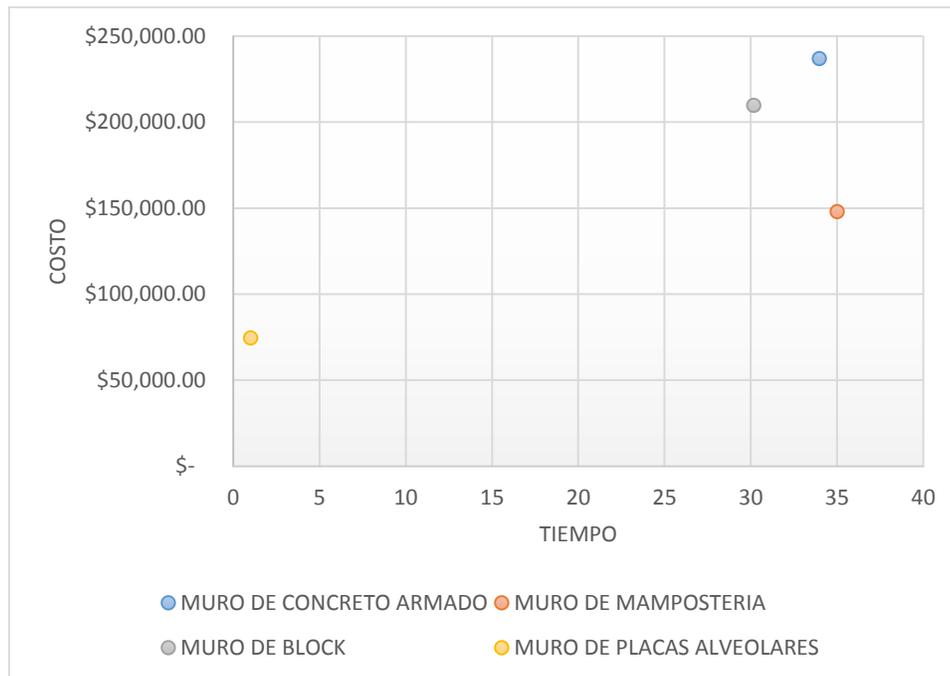
El tiempo de construcción de un muro de concreto reforzado y de block son menores en comparación a un muro de mampostería, además de también presentar mejor resistencia.

Como resultado de la investigación se puede ver en los gráficos presentados en el capítulo anterior que las Placas Alveolares en muros de contención son una mejor opción constructiva frente a los muros de contención convencionales pues existe una diferencia considerable en tiempo de ejecución y en costo de construcción del mismo.

Como se ha mencionado anteriormente las Placas Alveolares además de ser versátiles en cuanto a su uso, son también una mejor y más novedosa opción

de construcción al reducir costos y tiempo, lo cual se ve reflejado en la gráfica de costo-beneficio de los muros de contención propuestos.

Gráfica 3. Costo-Tiempo



De igual manera en este trabajo de investigación pudimos notar que en la parte sur del México al no contar con esta tecnología de construcción como lo es el uso de materiales prefabricados, específicamente hablando de Placas Alveolares, es una desventaja el tener que solicitar la fabricación de las mismas en otras partes del país como lo fue en este caso la zona centro, esto representa un costo extra en la construcción del muro debido a la transportación de las mismas al área de construcción.

Otra desventaja a considerar por parte de las Placas Alveolares es el uso de mano de obra especializada, que al ser un material de construcción no utilizado en esta zona del país es muy poco conocida su forma de colocación.

En general, se puede concluir que, aunque las Placas Alveolares tengan claras ventajas como material y presenten ventajas claras en costo-tiempo, la desventaja que presentan por ser un material prefabricado poco convencional en México es el acceso y la colocación de las mismas.

Del mismo modo, con esta investigación podemos percatarnos de la falta del uso de las nuevas tecnologías de construcción en nuestro país, la utilización de los métodos convencionales de construcción, la mayor parte de las veces rudimentarias y con una pobre administración, y, por otro lado, el empleo de tecnologías importadas referentes a nuevos materiales y procesos constructivos, especialmente aquellos que tienden a la industrialización y prefabricación de los materiales de construcción que, si bien son de alto valor y contenido tecnológico, no son congruentes con la realidad social y tecnológica de nuestro país. Es de gran importancia que los métodos de construcción utilizados en México sean actuales para poder satisfacer las necesidades que el país presenta, con las ventajas que nos ofrece la industrialización, retomando las experiencias pasadas para seguir avanzando.

El uso de las nuevas tecnologías de construcción trae consigo innumerables ventajas dando mejores resultados en costo y tiempo de construcción.

## BIBLIOGRAFÍA

AIDEPLA. (2009). *Aplicación de la alveoplaca a la contención de empujes*. Manual AIDEPLA. Recuperado de: <http://www.aidepla.org/manual-aidepla/79-la-alveoplaca-en-las-contencion-de-empujes>

Allen, A. H. (1978). *Introducción al concreto preforzado*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC).

Albero Gabarda, Vicente. (2016). *Optimización multiobjeto de la placa alveolar pretensada* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia.

Anelle, D. (2018). Construcción industrializada vs la tradicional, ¿Complemento o sustituto? Recuperado de: <https://www.tbmcg.mx/recursos/blog/construccion-industrializada/>

Andace (s.f.). *Placas Alveolares*. Elementos constructivos. Edificación. Máster Internacional de Soluciones Constructivas con Elementos Prefabricados de Hormigón o Concreto. Recuperado de: [http://www.andace.org/images/BIBLIOTECA/descripcion\\_placa\\_alveolar.pdf](http://www.andace.org/images/BIBLIOTECA/descripcion_placa_alveolar.pdf)

ANIVIP (Asociación Nacional de Industriales de Viagueta Pretensada, A.C.), (s.f.). *La Placa Alveolar*. Ciudad de México. Recuperado de: [https://www.anivip.org.mx/uploads/8/5/5/5/8555765/placa\\_alveolar\\_anivip\\_4.pdf](https://www.anivip.org.mx/uploads/8/5/5/5/8555765/placa_alveolar_anivip_4.pdf)

Barrera, C. 2004. Construcción de un muro mecánicamente estabilizado con el proceso de tierra armada. Instituto tecnológico de la construcción. Tesis. Recuperado de: [https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Ostos\\_Ramos\\_Ruben\\_4474\\_3.pdf](https://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Ostos_Ramos_Ruben_4474_3.pdf)

Braja, M. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. Cuarta edición. Universidad del Estado de California, Sacramento.

Huelsz, F. (2016). *Los Prefabricados, un gran campo para la creatividad*. Construcción y tecnología en concreto. Revista Cyt. Recuperado de: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/febrero2016/quien.pdf>

IVIPROCOSA. (s.f.). Placa Alveolar. Catálogo de ventas de Iviprocosa Prefabricantes de Concreto. Recuperado de: <http://www.viprocosa.com/sistema/uploads/3.Placa%20Alveolar.pdf>

Jara Mori, Gonzalo A. (2008). Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseño de estructuras de contención de tierras y su interacción con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.

López, A. (2019). *La construcción industrializada ha llegado para quedarse*. Materiales y Procedimientos de Construcción. Structuralia. Recuperado de: <https://blog.structuralia.com/la-construccion-industrializada-que-ha-llegado-para-quequedarse>

Lucero, F., Pachacama, E., Rodríguez, W. (2012). *Análisis y diseño de muros de contención*. (Tesis de licenciatura). Universidad Central de Ecuador.

Manzanares, D. (2016). *Sistema con placas alveolares: Industrialización de la Construcción*. Construcción y Tecnología en Concreto. Pp.28-29. Recuperado de: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/febrero2016/experto.pdf>

Martínez, J. (1998). *México y la construcción industrializada*. Revista IMCYC. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/constru.htm>

Nieto, M. (2020). Los sistemas prefabricados como el gran pendiente de México. Obras por expansión. Recuperado de: <https://obras.expansion.mx/construccion/2020/06/30/sistemas-prefabricado-gran-pendiente-de-mexico>

Novas, J. (2010). Sistemas Constructivos Prefabricados Aplicables a la Construcción de Edificaciones en Países de Desarrollo. Universidad Politécnica de Madrid. [Proyecto Fin de Máster]. Madrid, España.

Ordoñez, A. (s.f.) Muros de contención. Pp.11-12 Recuperado de: <http://www.novapdf.com>

Prefabricados LECRIN S.A. (25 de noviembre de 2018). Recuperado de <http://prefabricados-lecrin.com/placas-alveolares-introduccion/placas-alveolares-muros-de-contencion/>

Prefabricados LECRIN S.A. (s.f.) Recuperado de: <https://prefabricados-lecrin.com/placas-alveolares-introduccion/placas-alveolares-muros-de-contencion/>

Ponce et al (2014). Muros en Cantiléver. Publicado en Prezi. Recuperado de: <https://prezi.com/fdjm9v32onlt/muros-en-cantilever/>

Pons, O. (2010). *Evolución de las tecnologías de prefabricación aplicadas a la arquitectura escolar*. Informes de la construcción. Vol.62, 520. Pp.15-26. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/d200/7f9c3358ea3d532400530a4af53da7faa5d7.pdf>

Poo, A. (2003). El sector de la construcción en México. Arquitectura. Administración para el diseño. Recuperado de: [https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/2003/6\\_2003.pdf](https://administracionytecnologiaparaeldisenio.azc.uam.mx/publicaciones/2003/6_2003.pdf)

Rodríguez, M., López, O. (2016). *Ingeniería de costos*. Revista Mexicana de la Construcción. Recuperado de: <https://www.cmic.org/ingenieria-de-costos/>

Suárez, S. C. (2005). *Costo y Tiempo en Edificación*. Tercera edición. México. Editorial Limusa. (pp.22-25).

Titán Edificaciones. (s.f.). Sistema de placas alveolares. Sistema de placas alveolares Titán.

## ANEXO A

Tabla 3. Costos de un muro de contención de Concreto.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>MURO DE CONCRETO</b>				
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y COLUMNAS CON VARILLA DEL No. 4 AL 12, Fy=4000 KG/CM2, DE 3.00 A 6.00 METROS DE ALTURA; INCLUYE: ACARREOS INTERNOS, SUMINISTRO EN OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN AMARRES, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	1,102.70	\$43.18	\$47,614.66
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y COLUMNAS CON VARILLA DEL No. 4 AL 12, Fy=4000 KG/CM2, DE 3.00 A 6.00 METROS DE ALTURA; INCLUYE: ACARREOS INTERNOS, SUMINISTRO EN OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN AMARRES, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	463.44	\$43.18	\$20,011.29
<b>ZAPATA</b>				
ACERO PARA REFUERZO EN CIMENTACIÓN CON VARILLA NO.4, 5, 6 AL 12 Fy=4200 KG/CM2, INCLUYE: SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS INTERNOS, HABILITADO, COLOCACIÓN, AMARRE, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	533.05	\$43.59	\$23,235.74
ACERO PARA REFUERZO EN CIMENTACIÓN CON VARILLA NO.4, 5, 6 AL 12 Fy=4200 KG/CM2, INCLUYE: SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS INTERNOS, HABILITADO, COLOCACIÓN, AMARRE, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	177.49	\$43.59	\$7,736.67
<b>CONCRETO</b>				
CONCRETO SIMPLE DE F <sub>c</sub> =200 Kg/Cm <sup>2</sup> FABRICADO EN OBRA CON REVOLVEDORA PARA: MUROS Y COLUMNAS. TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO 19 MM. (3/4"), BANCO DE PROCEDENCIA APROBADO POR LA COMISION DE CAMINOS; INCLUYE: ACARREO DENTRO DE LA OBRA, COLADO, VIBRADO, CURADO, MUESTREO Y PRUEBA DE LABORATORIO, DESPERDICIO, MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA MENOR Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M3	11.20	\$3,698.00	\$41,417.60

CONCRETO F'c=250 KG/CM2 FABRICADO CON MAQUINA REVOLVEDORA EN OBRA PARA CIMENTACIÓN. EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO SERÁ DE (3/4") EL BANCO DE AGREGADOS DEBERA SER APROBADO POR LA COMISION DE CAMINOS. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA MENOR, ACARREO, MUESTREO Y PRUEBA DE LABORATORIO, COLADO, VIBRADO, CURADO Y DESPERDICIOS. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M3	6.00	\$3,783.77	\$22,702.62
<b>CIMBRA</b>				
CIMBRA EN MUROS DE 3.00 HASTA 6.00 M. DE ALTURA ACABADO APARENTE CON CIMBRAPLAY Y MADERA DE PINO DE 3a. INCLUYE: CIMBRADO, DESCIMBRADO, HERRAMIENTA, ANDAMIOS, MADERA DE PINO DE TERCERA PARA SOPORTE, CONTRAVENTE, ARRASTRES Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	42.80	\$587.93	\$25,163.40
CIMBRA PARA CIMENTACION EN ZAPATAS ACABADO COMUN CON MADERA DE PINO DE 3a. MEDIDA POR SUPERFICIE DE CONTACTO, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA EN HABILITADO, CIMBRADO Y DESCIMBRADO, MANIOBRAS LOCALES, ACARREOS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	6.40	\$259.63	\$1,661.63

<b>TOTAL =</b>	<b>\$ 189,543.60</b>
<b>I.V.A =</b>	<b>\$ 30,326.98</b>

<b>TOTAL =</b>	<b>\$219,870.58</b>
----------------	---------------------

Tabla 4. Costos de un muro de contención de Mampostería.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>MURO DE MAMPOSTERIA</b>				
MURO DE MAMPOSTERIA CON ESPESOR DE 0.61 M. A 1.00 M. DE 3A., UTILIZANDO PIEDRA BRAZA CON PARAMENTOS ROSTREADOS, JUNTEADA CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:3, INCLUYE: ACARREO DEL MATERIAL A 20 MTS. MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M3	2.80	\$2,140.65	\$5,993.82
<b>TOTAL =</b>				<b>\$5,993.82</b>
<b>I.V.A =</b>				<b>\$ 959.01</b>
<b>TOTAL =</b>				<b>\$ 6,952.83</b>

Tabla 5. Costos de un muro de contención de Block.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>MURO DE BLOCK</b>				
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y COLUMNAS CON VARILLA DEL No. 4 AL 12, Fy=4000 KG/CM2, DE 3.00 A 6.00 METROS DE ALTURA; INCLUYE: ACARREOS INTERNOS, SUMINISTRO EN OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN AMARRES, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	817.30	\$43.18	\$35,291.05
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y COLUMNAS CON VARILLA DEL NO. 2, Fy=2400 KG/CM2, DE 3.00 A 6.00 METROS DE ALTURA; INCLUYE: ACARREOS INTERNOS, SUMINISTRO EN OBRA, HABILITADO, COLOCACIÓN AMARRES, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	125.80	\$54.50	\$6,856.01
<b>ZAPATA</b>				
ACERO PARA REFUERZO EN CIMENTACIÓN CON VARILLA NO.4, 5, 6 AL 12 Fy=4200 KG/CM2, INCLUYE: SUMINISTRO EN OBRA, ACARREOS INTERNOS, HABILITADO, COLOCACIÓN, AMARRE, GANCHOS, TRASLAPES, DESPERDICIOS, DOBLECES, HERRAMIENTA MENOR Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	KG	710.54	\$43.59	\$30,972.40

MURO DE BLOCK 12X20X40 CMS DE 0.20 M DE ESPESOR, DE 3.00 HASTA 6.00 M. DE ALTURA, ACABADO COMÚN JUNTEADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:5, INCLUYE: DESCARGA, MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	13.44	\$521.97	\$7,015.28
APLANADO DE MURO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:3, ACABADO PULIDO; INCLUYE: REMATES, BOQUILLAS, PREPARACION DE LA SUPERFICIE, PLOMEADO, ANDAMIOS Y MANO DE OBRA. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	9.65	\$222.93	\$2,150.83
<b>CONCRETO</b>				
CONCRETO SIMPLE DE F <sub>c</sub> =200 Kg/Cm <sup>2</sup> FABRICADO EN OBRA CON REVOLVEDORA PARA: MUROS Y COLUMNAS. TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO 19 MM. (3/4"), BANCO DE PROCEDENCIA APROBADO POR LA COMISION DE CAMINOS; INCLUYE: ACARREO DENTRO DE LA OBRA, COLADO, VIBRADO, CURADO, MUESTREO Y PRUEBA DE LABORATORIO, DESPERDICIO, MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA MENOR Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M3	13.44	\$3,698.00	\$49,701.12
CONCRETO F <sub>c</sub> =250 KG/CM <sup>2</sup> FABRICADO CON MAQUINA REVOLVEDORA EN OBRA PARA CIMENTACIÓN. EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO SERÁ DE (3/4") EL BANCO DE AGREGADOS DEBERA SER APROBADO POR LA COMISION DE CAMINOS. INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA, EQUIPO, HERRAMIENTA MENOR, ACARREO, MUESTREO Y PRUEBA DE LABORATORIO, COLADO, VIBRADO, CURADO Y DESPERDICIOS. INCLUYE TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M3	1.80	\$3,783.77	\$6,810.79
<b>CIMBRA</b>				
CIMBRA DE MADERA CASTILLOS, CADENAS, DALAS ACABADO APARENTE CON CIMBRAPLAY Y MADERA DE 3a. MEDIDA POR SUPERFICIE DE CONTACTO, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA EN HABILITADO, CIMBRADO Y DESCIMBRADO, MANIOBRAS LOCALES, ACARREOS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	44.70	\$612.54	\$27,380.54
CIMBRA PARA CIMENTACION EN ZAPATAS ACABADO COMUN CON MADERA DE PINO DE 3a. MEDIDA POR SUPERFICIE DE CONTACTO, INCLUYE: MATERIALES, MANO DE OBRA EN HABILITADO, CIMBRADO Y DESCIMBRADO, MANIOBRAS LOCALES, ACARREOS Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	M2	6.40	\$259.63	\$1,661.63

<b>TOTAL =</b>	<b>\$167,839.65</b>
<b>I.V.A =</b>	<b>\$ 26,854.34</b>

<b>TOTAL =</b>	<b>\$194,693.99</b>
----------------	---------------------

Tabla 6. Costos para el Muro de Placas Alveolares.

<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>IMPORTE</b>
30	M	MURO ALVEOLAR (6 PLACAS DE 0.15X 1.00X 5.00 M.)	\$ 28, 500.00
1		FLETE	\$ 27,500.00
1	HR	GRUA HIAB	\$ 6,000.00
2	JOR	MO (1 MAESTRO DE OBRA + 1 AYUDANTE)	\$ 1,200.00
1		ESTRUCTURISTA	\$ 1,000.00

<b>TOTAL =</b>	<b>\$ 64,200.00</b>
<b>I.V.A =</b>	<b>\$ 10,272.00</b>

<b>TOTAL =</b>	<b>\$ 74,472.00</b>
----------------	---------------------

## ANEXO B

Tabla 7. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Concreto armado.

<b>Muro de concreto armado</b>	M2	M2/JOR	TOTAL
CIMBRA CIMENTACIÓN	6.4	10	0.64
CIMBRA MURO	42.8	5	8.56
		KG/JOR	
HABILITADO DE ACERO	2,276.68	100	22.77
		M3/JOR	
CONCRETO	11.2	0.07	1.00
	6	0.07	1.00
<b>TOTAL</b>			<b>33.97</b>

Tabla 8. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Mampostería.

<b>MURO MAMPOSTERÍA</b>	M3	M3/JOR	TOTAL
	52.50	1.5	35.00
<b>TOTAL</b>			<b>35.00</b>

Tabla 9. Tiempo de Construcción del Muro de Contención de Block.

<b>MURO DE BLOCK</b>	M2	M2/JOR	TOTAL
CIMBRA CIMENTACIÓN	6.4	10	0.64
CIMBRA MURO	44.7	5	8.94
		KG/JOR	
HABILITADO DE ACERO	836.34	100	8.36
HABILITADO DE CADENAS	334.32	100	3.34
HABILITADO DE CASTILLOS	482.98	100	4.83
		M2/JOR	
BLOCK	13.44	8	1.68
		M2/JOR	
APLANADO	9.65	7	1.38
		M3/JOR	
CONCRETO	6.84	0.07	1.00
<b>TOTAL</b>			<b>30.17</b>