



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Licenciatura en Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE
LOSA CON ELEMENTOS PREFABRICADOS VIGUETA-PANEL W**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Título de

Ingeniero civil

Presenta:

Mandujano Avila Yaret Key

Dirigido por:

M. en C. Luis Francisco Pérez Moreno

Querétaro, Qro., a 10 de junio de 2021



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Licenciatura en Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE
LOSA CON ELEMENTOS PREFABRICADOS VIGUETA-PANEL W**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Título de

Ingeniero civil

Presenta:

Mandujano Avila Yaret Key

Dirigido por:

M. en C. Luis Francisco Pérez Moreno

M. en C. Luis Francisco Pérez Moreno

Presidente

A blue ink signature of Luis Francisco Pérez Moreno.

M. en C. José Carlos Sotero Mendoza Pérez

Secretario

A blue ink signature of José Carlos Sotero Mendoza Pérez.

M. en C. Gerardo Medellín Aguilar

Vocal

M. I. Gerardo Medellín Aguilar
Clave: 1518

Dr. Enrique Rico García

Suplente

Dr. Enrique Rico García

Centro Universitario Querétaro, Qro.

Junio de 2020

México

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Justificación.....	11
1.2. Hipótesis.....	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Objetivo general	12
1.5. Objetivos particulares.....	12
2. ANTECEDENTES.....	13
3. METODOLOGÍA	18
3.1. Ensaye de las losas con base en la norma NMX-C-406-ONNCCE-1997 y NMX-C-405-ONNCCE-1997.....	20
3.1.1. Método de prueba para sistema Vigüeta- Panel W	20
3.1.2. Método de prueba para sistema Vigüeta-Bovedilla	23
3.1.3. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Panel W a ensayar	27
3.1.4. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Bovedilla a ensayar	29
3.2. Análisis de comportamiento mediante la gráfica esfuerzo-deformación, tipo de falla y carga máxima aplicada.	32
3.2.1. Análisis de comportamiento para sistema Vigüeta- Panel W	32
3.2.2. Análisis de comportamiento para componente aligerante panel W	33
3.2.3. Análisis de comportamiento para sistema Vigüeta- Bovedilla	33
3.2.4. Análisis de comportamiento para componente aligerante Bovedilla de poliestireno	34
3.3. Evaluación del patrón de agrietamiento dependiendo el tipo de falla (frágil, dúctil o balanceada).	35
3.4. Evaluación comparativa de resistencia entre el sistema Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla.	35

3.5. Evaluación de análisis de precios Unitarios de Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla en ejemplo de casa habitación.	36
3.5.1. Norma de cumplimiento.....	36
3.5.2. Componentes portantes	36
3.5.3. Componentes aligerantes.....	36
3.5.4. Peraltes mínimos del sistema.....	37
3.5.5. Concreto colado en obra	37
3.5.7. Losa de compresión	38
3.5.8. Refuerzo Mínimo	38
3.5.9. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Panel W en casa habitación	52
3.5.10. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Bovedilla en casa habitación	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. Análisis de resultados para sistema Vigüeta- Panel W	55
4.2. Análisis de resultados para componente aligerante panel W	56
4.3. Análisis de resultados para sistema Vigüeta- Bovedilla	57
4.4. Análisis de resultados para componente aligerante bovedilla de poliestireno	58
4.5. Evaluación del patrón de agrietamiento para sistema Vigüeta- Panel W y Vigüeta Bovedilla.....	59
4.6. Evaluación comparativa de resistencia entre el sistema Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla	60
4.7. Evaluación comparativa de costos entre el sistema Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla por m ²	60
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
6. REFERENCIAS.....	62
7. ANEXO A.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología General en base a los objetivos particulares.	19
Tabla 2. Especificaciones de los elementos prefabricados.	19
Tabla 3. Estado de carga de la losa Vigüeta-Panel W a ensayar.....	26
Tabla 4 . Estado de carga de la losa Vigüeta-Bovedilla a ensayar.....	26
Tabla 5. Cargas Vivas Unitarias.	27
Tabla 6. Losa de compresión.	38
Tabla 7. Análisis de precios unitarios de losa Vigüeta-Panel W.....	39
Tabla 8. Análisis de precios unitarios de losa Vigüeta-Bovedilla.....	45
Tabla 9. Estado de carga de la losa Vigüeta-Panel W.	51
Tabla 10. Estado de carga de la losa Vigüeta-Bovedilla.	51
Tabla A1. Ficha técnica de clavos 2- 1/2" marca Fiero.....	66
Tabla A2. Rendimiento de alambre recocido.....	67
Tabla A3. Total de cimbra a utilizar para casa-habitación de 47.95 m ²	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Vigüeta-Bovedilla. (NMX-C-406 ONNCE,1997).	14
Figura 2. Panel de prueba con agregado de aserrín. (Li et al., 2017).	15
Figura 3. Apuntalamiento para losa Vigüeta-Panel W.....	16
Figura 4. Colocación de semivigüeta dentro de la trabe o cadena.....	16
Figura 5. Corte del panel W repellado con mortero.....	16
Figura 6. Colocación de malla electrosoldada.....	17
Figura 7. Resistencia mínima en firme de 200 kg/cm ²	17
Figura 8. Isométrico en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.....	20
Figura 9. Vista frontal en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.	20

Figura 10. Aplicación de carga en el componente aligerante panel W.....	22
Figura 11. Isométrico en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.....	23
Figura 12. Vista frontal en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.	23
Figura 13. Aplicación de carga en el componente aligerante bovedilla de poliestireno (Norma NMX-C -406 ONNCEE, 1997).	25
Figura 14. Corte transversal en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.	28
Figura 15. Características del Panel Semiestructural.....	28
Figura 16. Cuña de concreto en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.....	29
Figura 17. Corte transversal en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.	29
Figura 18. Metros lineales de vigüeta @ 48 cm.	30
Figura 19. Cuña de concreto en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.	31
Figura 20. A) Repellido del panel W por una cara con mortero B) Colocación de malla electrosoldada C) Preparación de mezcla D) Colado de la muestra.	32
Figura 21. Sistema Vigüeta-Panel W a ensayar.....	32
Figura 22. Componente aligerante Panel W con deformación irreversible.....	33
Figura 23. A) Colocación de la malla electrosoldada B) Preparación de mezcla C) Colado de la muestra.	33
Figura 24. Sistema Vigüeta-Bovedilla a ensayar.....	34
Figura 25. Componente aligerante Bovedilla de poliestireno a ensayar.....	34
Figura 26. Curva carga-deformación de los elementos sometido a flexión.	35
Figura 27. Cuña de concreto en Vigüeta-Bovedilla. (NMX-C-406 ONNCE,1997)	37
Figura 28. Corte transversal en losa de Vigüeta-Panel W para casa habitación	52
Figura 29. Características del panel estructural.	52

Figura 30. Corte transversal en losa de Vigüeta-Bovedilla para casa habitación	53
Figura 31. Metros lineales de vigüeta @ 75 cm.	53
Figura 32. Curva carga-deformación del sistema Vigüeta-Panel W.....	55
Figura 33. Patrón de grietas en cada claro del sistema Vigüeta-Panel W.....	56
Figura 34. Panel W después de aplicar la carga de 150 kg con deformación reversible.....	56
Figura 35. Curva carga-deformación del sistema Vigüeta-Bovedilla.....	57
Figura 36. Patrón de grietas en cada claro de la losa Vigüeta-Bovedilla.	58
Figura 37. Falla de bovedilla con 150 kg.....	58
Figura 38. Comportamiento unidireccional de la losa Vigüeta-Panel W.....	59
Figura 39. Comportamiento unidireccional de la losa Vigüeta-Bovedilla.....	59
Figura 40. Curva carga-deformación de ambos sistemas de losas.....	60
Figura 41. Costo por m ² de cada tipo de losa.....	60

RESUMEN

Este trabajo ha sido desarrollado con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico de un sistema de losa sujeta a flexión con elementos prefabricados de vigueta y panel W mediante la curva de carga-deformación. Aunado a esto se ha hecho una comparativa con el sistema de vigueta y bovedilla el cual hace un criterio más amplio entre la resistencia y análisis de precios unitarios de ambos sistemas. En la primera etapa se ensayaron ambos sistemas de losa aplicando una carga distribuida hasta alcanzar la falla evaluando patrón de agrietamiento y resistencia, se ensayaron los componentes aligerantes de cada losa cumpliendo con la norma respectiva y también se estimó el estado carga correspondiente. Con base en los resultados obtenidos el sistema vigueta y panel W es 27% más resistente que el sistema de vigueta y bovedilla, lo que sugiere que este tipo sistema puede ser utilizado en casas habitación. Se recomienda realizar más ensayos con panel estructural ya que el utilizado en la experimentación fue panel semiestructural. En la segunda etapa se consideró realizar un análisis de precios unitarios de una casa habitación de 47.95 m² con ambos sistemas, realizando catálogo de conceptos, revisando rendimientos y cotizando los materiales a utilizar. Observándose que el sistema vigueta y panel W es más económico y que en la etapa de ejecución se obtienen mejores rendimientos.

(**Palabras clave:** flexión, falla, agrietamiento, resistencia, análisis de precios unitarios)

SUMMARY

This work has been developed with the aim of evaluating the mechanical behavior of a slab system with precast components with beam and EPS wall panel by the load-deformation graph. As an addition, a comparative study with beam and EPS block floor system is used to make a broader view between the resistance and unit price analysis of both systems. At the beginning, flexural behavior of both slab systems were subjected to a distributed load until failure in order to study cracking pattern and resistance, the lightweight components of each slab accomplish with the respective specifications and also the corresponding load state was estimated. Based on the results we obtained, the components with beam and EPS wall panel system is 27% more resistant than the beam and EPS block floor system, which suggests that this type of system can be used in construction. It is recommended to realize more tests with a structural panel since the one we used in the experimentation was a semi-structural panel. Second we considered to realize a unit price analysis of a 47.95 m² house with both systems, making quantity takeoff and pricing sheets. Observing that the beam and EPS panel W system has a low price and in the execution stage has proved to be more efficient.

(Key words: flexure, failure, cracking, resistance, unit prices analysis)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro, por otorgarme la primera oportunidad de ser parte de esta gran casa de estudios desde la preparatoria hasta concluir mis estudios universitarios. Gracias por compartir retos, grandes momentos y alegrías inolvidables.

"Lo mismo que el hierro se oxida por falta de uso y el agua estancada se vuelve putrefacta, también la inactividad destruye el intelecto"

Leonardo da Vinci

Muy especialmente a mi director de tesis Luis Francisco Pérez Moreno quien ha enseñado a cada generación de la facultad que el estudio no es una obligación sino una oportunidad para entender cómo funciona la ingeniería a nuestro alrededor. Gracias a él concluí que estudiar ingeniería es porque te interesa conocer, porque te gusta y porque te hace feliz; gracias por creer en mí desde un principio, por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional sin usted la investigación de este tema no hubiera sido posible.

"Un buen maestro puede crear esperanza, encender la imaginación e inspirar amor por el aprendizaje"

Brad Henry

A mis asesores de tesis a cada uno de ellos que contribuyeron con esta investigación, existen muchas personas que se dedican a la docencia, pero son muy pocos los que aportan gran parte de su conocimiento y ustedes son los que marcan la diferencia entre los jóvenes estudiantes de la facultad, gracias por su atención y compromiso, su labor es muy valioso. A pesar de la pandemia han transmitido sus enseñanzas.

-Maestro, ¿Está fácil el examen?

-Si estudiaste, sí.

Todos los alumnos

A la empresa Desarrolladora Delta, por haberme dado la oportunidad de cursar mis prácticas profesionales, gracias por el apoyo que se me brindó en el corporativo y un ambiente laboral ejemplar lleno de personas entregadas en toda la extensión de la palabra.

"El éxito de una empresa es simplemente el reflejo de la actitud, grado de motivación y compromiso de las personas que la forman"

Camilo Cruz

A mis padres, por darme la oportunidad de vivir; y en el trayecto educarme y enseñarme a trabajar a su manera. Gracias por demostrarme que se puede salir adelante a pesar de cada dificultad y obstáculo que se presenta. Dicen que los hijos se justifican cuando son aunque sea un poco mejores a sus padres y estoy segura de que ustedes superaron por mucho a mis abuelos.

“Deberíamos amar siempre a nuestros padres, porque mientras se espera vivir la vida pasa”

A mi mamá y la mamá de mi amigo Erick:

Siempre estaremos agradecidos con ustedes sin su esfuerzo no seríamos lo que somos actualmente, su cariño, comprensión y cuidado nos ha enseñado tanto. Gracias por darme la oportunidad de existir y estés orgullosa a lo largo de nuestro camino hasta el final de nuestros días. Que por tus consejos y apoyo, me guiaron en la vida a ir por un buen camino y saber cómo afrontarla para que yo pudiera realizar cada meta que me proponga.

“Siempre recordaré los momentos más felices porque son parte de mí”

A mi hermano Kevin, sé que llegarás muy lejos cumpliendo tus metas y sueños, tienes la capacidad de hacerlos realidad, harás más que cualquiera de nosotros. Determina dónde estás, analiza el problema, diseña la solución y explora dónde te gustaría estar y traza el camino para conseguirlo cuando termines la preparatoria.

“It’s said that a wise person learns from his mistakes. A wiser one learns from others’ mistakes. But the wisest person of all learns from others’ successes”
John C. Maxwell

A mi amigo que fue como nuestro abuelo Juan Mandujano Pérez agradezco infinitamente el tiempo que compartió con nosotros transmitiendo sus experiencias, anécdotas y conocimientos acerca de las plantas y sus propiedades medicinales. Tu ausencia me duele pero tu recuerdo y enseñanzas estarán presentes en nosotros.

“Siempre hay que encontrar el tiempo para agradecer las personas que hacen una diferencia en nuestra vida”

A mis amigos de la universidad y preparatoria Sur; María del Carmen, Hilarión, Catalina, Erick, Maritza, Oscar, Sofia, Paula y Ruth. La vida nos ha enseñado que es bella, hay sonrisas, que la naturaleza es sabia, a soportar el dolor, la soledad, la pobreza y son situaciones que nos hacen mejores personas las cuales debemos enfrentar porque son parte de nosotros.

“La gente sin ambición, no sale nunca del agujero”
María Félix

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se propone un sistema de losa con panel de poliestireno repellido con mortero y colocado sobre viguetas de alma abierta ofreciendo un sistema constructivo muy fácil de colocar, ensamblar y armar las piezas, tal es así que se obtiene mejores rendimientos ahorrando tiempo y dinero al dueño de la construcción. El proceso constructivo se realiza como el sistema de vigueta y bovedilla, pero remplazando la bovedilla por panel W repellido con mortero.

El sistema propuesto se utiliza en una vivienda de 47.95 m² y las dimensiones del panel de poliestireno colocado en la losa son de 1.22 m x 0.63 m x 3", se repellaron por una cara con mortero, logrando el espesor recomendado de 1.5 cm a 2 cm y se colocaron sobre las viguetas de alma abierta quedando totalmente alineadas. El material es ligero, y no se necesitan habilidades técnicas para su instalación, para que el control de agrietamiento del concreto sea efectivo el refuerzo debe estar distribuido uniformemente por medio de la malla electrosoldada. La losa será colada monolíticamente, es decir, en una sola pieza.

Se realiza una comparativa de resistencia y análisis de precios unitarios con el sistema de vigueta y bovedilla. Para el análisis de precios unitarios se elabora un catálogo de conceptos, revisión de rendimientos y cotización de los materiales a necesitar, aunado a esto se ensayaron ambos sistemas a flexión graficando la curva carga-deformación, y saber qué sistema es más conveniente para la construcción, transformar sistemas existentes de la construcción es todo un reto para la ingeniería.

A continuación se mencionan y describen en forma breve cada uno de los capítulos de que trata este trabajo:

En el capítulo 1 se mencionan algunos datos sobre los elementos prefabricados y la importancia por el cual México necesita implementarlos.

En el siguiente capítulo se describen de forma general las características de algunos sistemas de losas.

De manera similar, en el capítulo 3 se describe la metodología para conocer la eficiencia del sistema propuesto y el de Vigueta-Bovedilla, se desglosa el análisis de precios unitarios para ambos sistemas el cual incluye materiales, mano de obra y todo lo necesario para su correcta ejecución.

En el capítulo 4 se presenta una discusión sobre los resultados obtenidos del capítulo anterior.

Finalmente, en el capítulo 5 se mencionan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron de dicho análisis.

1.1. Justificación

Aunque la prefabricación es un método que ha ido creciendo en países industrializados como Inglaterra, Francia, Alemania, Italia, Suecia y Dinamarca; México aún no desarrolla ni aplica a gran escala sistemas de prefabricación. Según Martínez Dircio (s.f.) una de las razones de esta diferencia es que en los países europeos el costo de mano de obra es tan elevado lo cual impulsa el empleo de sistemas prefabricados para reducirlo.

En México ocurre lo contrario; al disponer de una mano de obra barata provoca el empleo generalizado de sistemas tradicionales de construcción donde el ambiente laboral es quizás el mejor ejemplo de cómo un grupo de individuos da lugar a conductas inadecuadas que provocan riesgos en la seguridad y la salud (Carcaño & Chagoyán, 2013). El uso de prefabricados disminuye los riesgos que se puedan presentar en la obra ya que al llegar el material montan y ensamblan cada elemento respectivamente.

La industria de la construcción en México se encuentra rezagada a nivel tecnológico retrasando tiempos de ejecución y productividad, por lo cual las empresas necesitan innovar sistemas cuya instalación sea fácil y no requiera mano de obra especializada utilizando materiales convencionales en aplicaciones no convencionales.

Los individuos que se dediquen a la construcción deberán tener una disposición abierta a cambios y mejoramientos continuos, más adelante se presenta un nuevo sistema constructivo de losa con panel de poliestireno repellido con mortero y colocado sobre viguetas de alma abierta, con el propósito de conocer el comportamiento mecánico y determinar las cargas máximas que soporta este tipo de sistema, se realizaran pruebas para discutir si es viable aplicar el sistema en casas habitación y oficinas.

Es importante enfatizar a las empresas mexicanas las ventajas que ofrecen los elementos prefabricados. Tienen un papel importante socioeconómico, reducción del impacto ambiental y de calidad de vida. Polat (2010) comenta que son pocas las empresas que tienen el interés en invertir en tecnologías para la elaboración de elementos prefabricados porque conlleva una gran inversión inicial con la planta industrial, contratar los medios transporte y el personal adecuado.

La industria de la construcción en México es conocida por las condiciones laborales muy duras, baja productividad y riesgos altos. Estas condiciones del negocio resultan de una lenta integración tecnológica avanzada haciendo un gran contraste significativo en la economía nacional y la vida de las personas. La industria de la construcción en México necesita innovar sistemas cuya instalación sea fácil y disminuya los plazos de ejecución de los proyectos.

1.2. Hipótesis

El diseño de losa con Vigüeta-Panel W alcanzará una resistencia mayor o igual que la losa de Vigüeta-Bovedilla debido a que el panel está conformado por una malla de acero galvanizado que le proporciona una mayor rigidez y resultará un sistema constructivo económico.

1.3. Objetivos

1.4. Objetivo general

- ✓ Evaluar la eficiencia de las losas Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla sometidas a flexión.

1.5. Objetivos particulares

- ✓ Ensayar las losas utilizando los criterios de la norma NMX-C-405-ONNCCE-1997 y NMX-C-406-ONNCCE-1997.
- ✓ Analizar el comportamiento y modo de falla de la losa sometida a flexión.
- ✓ Evaluar el patrón de agrietamiento que se obtendrá en el método de ensaye.
- ✓ Comparar la resistencia última de ambas losas.
- ✓ Realizar una comparativa de análisis de precios unitarios de ambos sistemas.

2. ANTECEDENTES

Las losas o placas de entrepiso son elementos estructurales que soportan las acciones principales, cuyas cargas son normales a lo largo del eje longitudinal del plano causando esfuerzos y deformaciones. Para los procesos constructivos de las losas de concreto se encuentran los sistemas tradicionales y los sistemas a base de elementos prefabricados.

Un tipo de sistema tradicional muy común es la losa maciza que consiste en una retícula de varillas de acero y es embebida en concreto. El concreto es resistente a la compresión, pero débil cuando se somete a tensión por lo que lo hace bastante frágil y a medida que el concreto empieza a fraguar sufre una contracción y da como resultado el agrietamiento. Zhang et al. (2020) destacan que las barras de acero entre el concreto garantizan una resistencia adicional a la tensión y evita el agrietamiento, el concreto a su vez protege al acero y evita su corrosión.

Así mismo mediante la combinación del concreto y el acero de refuerzo es posible producir sistemas a base de elementos prefabricados. Los prefabricados son elementos estructurales rígidos y resistentes, fabricados previamente antes de su montaje, son capaces de soportar cargas muy elevadas (Ochshorn ,2010). Usualmente son elementos de concreto o de poliestireno y algunos elementos pueden ser aligerados incorporando huecos o alveolos como la bovedilla.

Salas (2008) menciona que al finalizar la segunda guerra Mundial durante el periodo de reconstrucción fueron los ingenieros europeos quienes encabezaron los prefabricados debido a la escasez de mano de obra y materiales lo que causo el interés de muchas empresas europeas.

T. Kim et al. (2020) sostienen que la prefabricación se utiliza ampliamente en la industria de la construcción que se ha popularizado en todo el mundo debido a que satisface una finalidad económica, de trabajo y de rapidez, además reduce los impactos ambientales, es resistente y tiene una gran versatilidad estética.

A continuación, se describe una serie de sistemas de losas prefabricadas que son utilizadas en México las cuales han sido implementadas para la construcción de viviendas de tipo interés social tanto unifamiliar como multifamiliar.

Un tipo de sistema muy común a base de elementos prefabricados de acuerdo con la empresa PREMEX (2013) es el sistema de vigueta y bovedilla. La vigueta es una viga de concreto con una armadura de acero en su interior, soporta el peso de la losa y las cargas actuantes las trasmite hacia las trabes. Por otra parte, las bovedillas son elementos que aligeran el peso de la losa, van colocadas entre las viguetas y la losa de compresión (Figura 1).

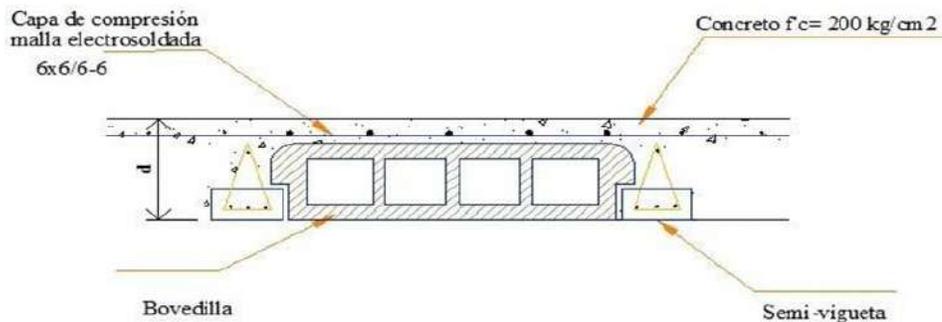


Figura 1. Sistema Vigueta-Bovedilla. (NMX-C-406 ONNCE,1997).

Una de las ventajas de este sistema es que elimina la cimbra de contacto, contribuye como aislante acústico y de temperatura. Este sistema está perimetralmente confinado con una dala o viga de concreto reforzado. El sistema trabaja en una dirección por lo que se recomienda para claros menores a 6 metros. Además, comparado con la losa tradicional es mucho más económico.

Asimismo, el sistema panel W es un sistema constructivo moderno y eficiente que ofrece mayores ventajas que un sistema tradicional (Covintec,2008). Consiste en una estructura tridimensional de alambre galvanizado calibre #14 (2.03mm) cuyo esfuerzo de fluencia es de $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$. Las dimensiones nominales del panel son 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo y cuyo espesor varía de 1"-4". Este sistema combina ventajosamente la ligereza, resistencia del acero y propiedades aislantes del panel. Por su estructura monolítica ofrece propiedades anticiclón y antisísmicas superiores a los sistemas tradicionales.

Además, las aplicaciones que se le dan a los paneles de poliestireno están entre los muros de carga, muros divisorios, losas de entrepiso, losa de azotea, fachadas, pretilas, arcos, cúpulas y detalles arquitectónicos.

En los últimos años se ha popularizado la losa Reticular o también llamada losa nervada. Gallo Ortiz et al. (2001) mencionan que son losas aligeradas que forman una red de vigas dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados por casetones prefabricados de poliestireno o fibra de vidrio disminuyendo así gran parte de su peso. Por las dimensiones obtenidas se tiene una estructura con un peralte mayor y evita deflexiones excesivas obteniendo una mayor rigidez que la de una losa maciza. Los claros de la losa reticular nervada van desde 6 metros hasta 10 metros. Suelen emplearse en la construcción de edificios, tales como departamentos, oficinas, estacionamientos, hoteles y hospitales.

A partir de los años sesenta los investigadores han realizado numerosos ensayos con el concreto y sus agregados, sustituyen la grava o arena por madera, poliestireno, vidrio e incluso fibra. Un ejemplo es el de Li et al. (2017) que realizaron pruebas donde demostraron que la madera ha dado mejor conductividad térmica, gran resistencia y durabilidad en el concreto, puede utilizarse en losas y muros.

Para analizar el comportamiento mecánico y llegar a los resultados mencionados realizaron un panel (Figura 2) hecho a base de concreto cuyo agregado principal era el aserrín un residuo de los tablonces de madera. Además, este material hace que el panel sea un elemento más liviano que el concreto convencional, la mayoría de las empresas lo desechan o lo venden a un precio muy bajo y está disponible en cualquier maderería. Este tipo de panel podría emplearse en departamentos u oficinas.



Figura 2. Panel de prueba con agregado de aserrín. (Li et al., 2017).

Obregón y Fernando (2008) mencionan que Roger Corbetta concibió la idea de construir una casa con paneles de concreto y en 1917 este sistema estructural ya se comercializaba con gran éxito. Pero ¿qué hizo tan famoso este sistema? La respuesta está en los prefabricados de concreto, su durabilidad, resistencia y versatilidad continúan consolidándolos como una de las mejores alternativas en la construcción. Resulta que utilizar prefabricados en losas es muy eficaz porque es rápida la instalación de elementos logrando una producción más económica en proyectos masivos.

Utilizando viguetas de alma abierta y panel de poliestireno recubriéndolo con una capa de mortero por uno de sus lados se ofrece un sistema constructivo muy fácil de colocar, ensamblar y armar las piezas, ahorrando tiempo y dinero al dueño de la construcción. El proceso constructivo se realizaría como el sistema de vigueta y bovedilla, pero remplazando la bovedilla por panel W tal y como se describe a continuación:

Colocar una madrina perimetral de nivelación y mdrinas centrales (Figura 3).



Figura 3. Apuntalamiento para losa Vigueta-Panel W.

Colocar las viguetas dentro de la cadena o trabe, con una separación entre ellas según lo indique el proyecto (Figura 4).



Figura 4. Colocación de semivigueta dentro de la trabe o cadena.

Se repella con mortero el panel W por uno de sus lados, hasta lograr el espesor recomendado de 1.5 cm a 2 cm, medido de la retícula hacia afuera. Se hacen cortes obteniendo bloques de 1.22 m de ancho por 0.63 m de largo, y por último serán colocados sobre las viguetas de alma abierta quedando totalmente alineadas haciendo los ajustes necesarios (Figura 5).



Figura 5. Corte del panel W repellado con mortero.

Tender la malla electrosoldada traslapando cuadro sobre cuadro y fijándola perfectamente a las cadenas en las esquinas (Figura 6).



Figura 6. Colocación de malla electrosoldada.

Siempre se debe de caminar sobre tablones con la finalidad de no pisar los bloques del panel de poliestireno y antes del colado se recomienda humedecer uniformemente las viguetas al igual que los bloques de poliestireno.

El concreto del firme tendrá una resistencia igual o mayor que $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, pero no menor que $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ (NTC Mexicanas, 2017) dependiendo del diseño de losas (Figura 7). El firme se debe colar desde los extremos hacia el centro. Si se llega a usar concreto bombeado se recomienda no concentrar el concreto en un solo punto, hay que esparcirlo uniformemente, para evitar que se colapse la losa por sobrepeso.

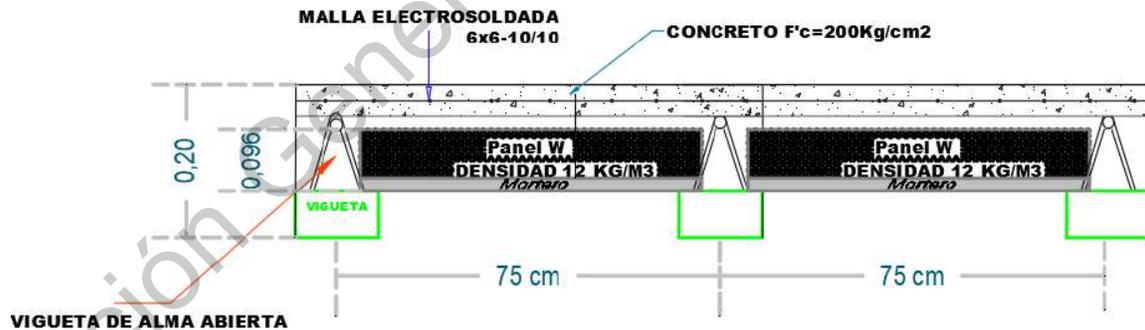


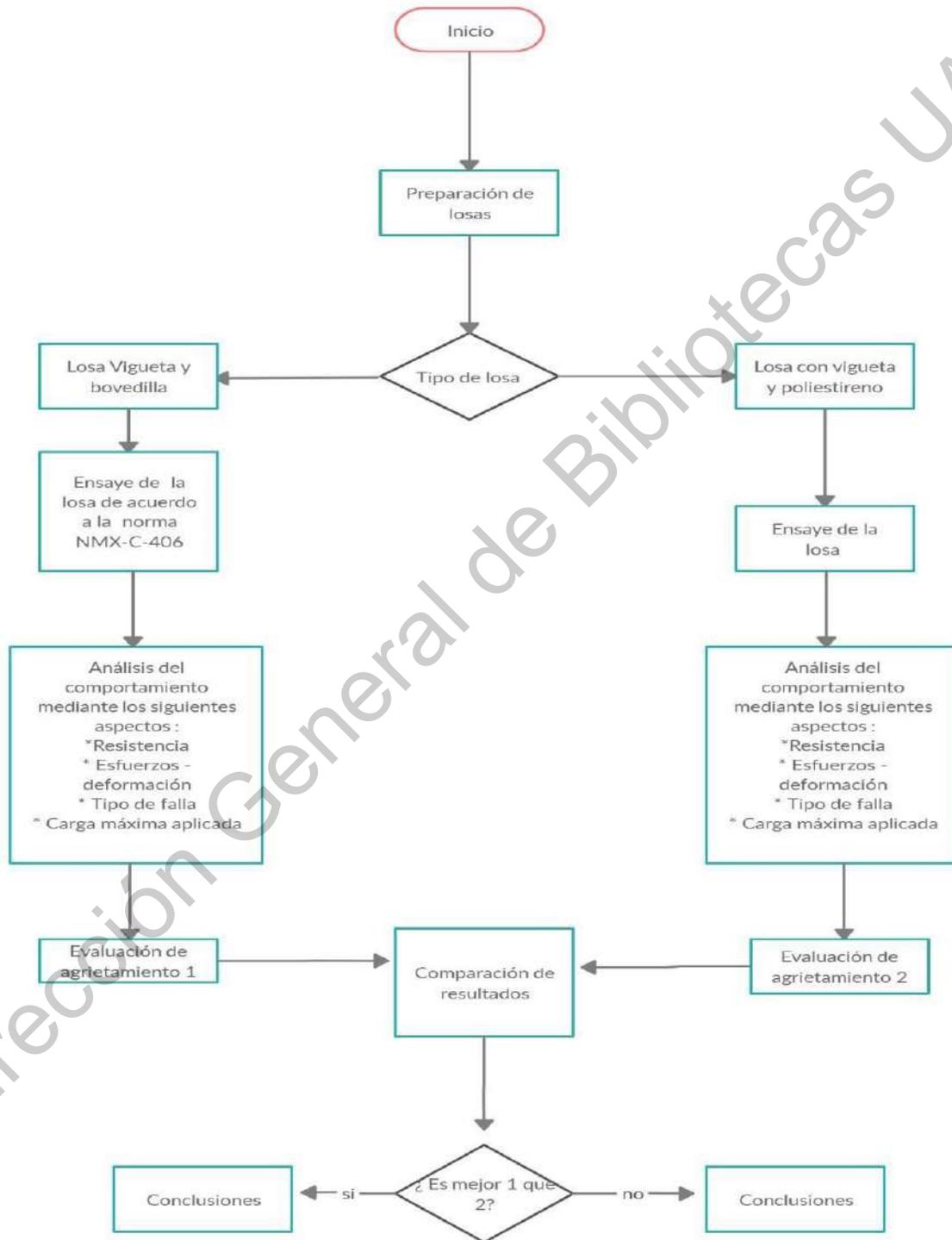
Figura 7. Resistencia mínima en firme de 200 kg/cm².

Los tiempos para retirar los puntales son los siguientes: las madrinas centrales se podrán retirar cuatro días después del colado y los polines perimetrales siete días después del mismo.

Para impermeabilizar y pintar el techo se afina con mortero o estuco de tal modo que la textura queda completamente lisa al tacto, de igual manera se podrá utilizar plafón falso y darle forma estética.

3. METODOLOGÍA

En esta sección se muestran especificaciones y los procedimientos involucrados para analizar el comportamiento de las losas. El siguiente diagrama de flujo muestra el desarrollo experimental de este trabajo.



En la Tabla 1 y Tabla 2 se muestran las actividades correspondientes a los objetivos particulares que se deben de realizar a lo largo del proceso de la investigación y las especificaciones de los materiales a ensayar.

Tabla 1 . Metodología General en base a los objetivos particulares.

Evaluación del comportamiento mecánico de Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla	
Objetivos Particulares	Metodología
1. Ensayar las losas utilizando los criterios de la norma NMX-C-406-ONNCCE-1997 y NMX-C-405-ONNCCE-1997.	1.1. Ensaye de la losa de acuerdo la norma NMX-C-406-ONNCCE-1997 y NMX-C-405-ONNCCE-1997.
2. Analizar el comportamiento y modo de falla de la losa sometida a flexión.	2.1. Análisis de comportamiento mediante la curva carga-deformación, tipo de falla y carga máxima aplicada.
3. Evaluar el patrón de agrietamiento que se obtendrá en el método de ensaye.	3.1. Evaluación del patrón de agrietamiento dependiendo el tipo de falla (frágil, dúctil o balanceada).
4. Comparar la resistencia última de ambas losas.	4.1. Comparación de resistencia para ambas losas.
5. Comparar los precios unitarios de ambas losas.	5.1. Comparación de precios unitarios para ambas losas.

Tabla 2. Especificaciones de los elementos prefabricados.

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA		
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Vigueta de alma abierta 5 cm x12 cm x15 cm	Peso propio del sistema	15 kg/m
	Peralte del sistema	15 cm
	Resistencia a la compresión de vigueta	350 kg/cm ²
Bovedilla de poliestireno 63 cm x122 cm x 15 cm	Densidad de la bovedilla de poliestireno	12kg/m ³
	Peralte del sistema	15 cm
Losas de compresión	Resistencia de la losa de compresión	200 kg/cm ²
	Espesor de la losa de compresión	5 cm
Panel de Poliestireno 63cmx122 cm X3"	Espesor del panel	3"
	Resistencia de fluencia del acero	5000 kg/cm ²
	Densidad del Panel de Poliestireno	12 kg/m ³
	Peso propio del sistema con mortero y concreto	190 kg/cm ²

3.1. Ensaye de las losas con base en la norma NMX-C-406-ONNCCE-1997 y NMX-C-405-ONNCCE-1997

3.1.1. Método de prueba para sistema Vigüeta- Panel W

Para todos los sistemas de losa las pruebas se realizarán 28 días después de haber sido colada la losa de compresión, la losa tendrá una dimensión de 40 cm por 60 cm de largo y un alto de 20 cm (Figura 8 y Figura 9) cuyas medidas son del tamaño de la base de la máquina universal que se encuentra en el laboratorio de Geotecnia, Materiales y Geomática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

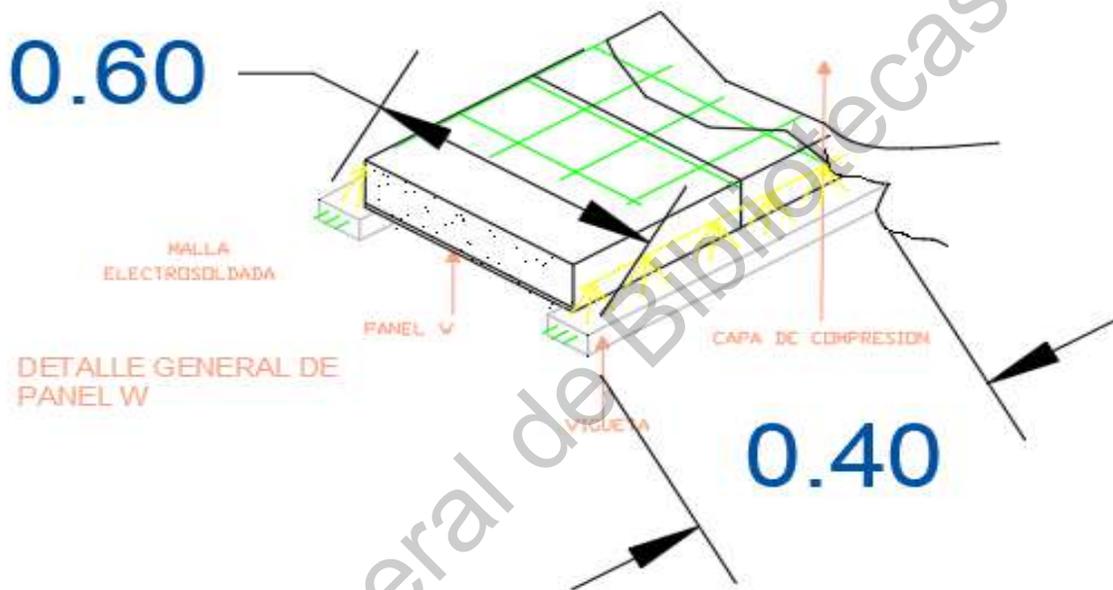


Figura 8. Isométrico en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.

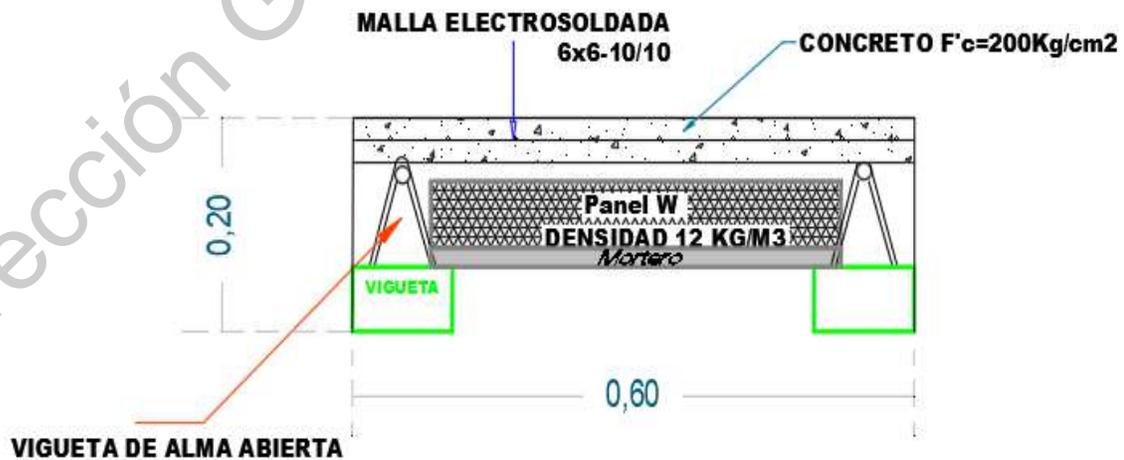


Figura 9. Vista frontal en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.

3.1.1.1. Equipo y herramienta

- ✓ Flexómetro
- ✓ Micrómetro mecánico con precisión de 0.025 mm
- ✓ Bascula para pesar material de carga aplicada
- ✓ Crayones, plumones y material de dibujo
- ✓ Lupa de 5 aumentos para observar fisuras y deformaciones como mínimo

La muestra de ensaye del sistema se debe de preparar de acuerdo a las especificaciones del fabricante; se colocarán unos muretes o soportes fijos en el piso, perimetrales y no perimetrales según sea el sistema de losa, para evitar que se pueda voltear durante las maniobras de carga.

Estos apoyos deberán tener la altura mínima adecuada para poder colocar el equipo de instrumentación, y llevar a cabo las mediciones y observaciones en la probeta del sistema.

El micrómetro mecánico se instalará al centro del claro por la cara inferior de la muestra del sistema de losa.

3.1.1.2. Procedimiento

La carga de prueba será la carga viva especificada, incrementada en un 40% y se aplicará en cuatro etapas, registrando la deformación medida por los micrómetros en cada etapa, una de ellas corresponderá a la carga bajo condiciones de servicio.

La carga se aplicará distribuyéndola uniformemente sobre la superficie de la muestra (las unidades de carga no deberán quedar en contacto lateralmente para un efecto de arco) y podrán aplicarse cargas concentradas a los tercios del claro, que produzcan un momento equivalente.

Para el registro o medición de deformaciones debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Se tomarán otras lecturas 24 h después de aplicar la carga total y al descargar totalmente el sistema.

3.1.1.3. Resultado

La muestra se considera aceptada si cumple con las especificaciones para la carga de servicio. Si presenta falla el sistema se debe repetir una vez más el ensaye. Solo en caso de aprobar esta última se deberá realizar una tercera parte para obtener el resultado promedio definitivo.

3.1.1.4. Método de prueba para componente aligerante panel W

3.1.1.4.1. Equipo y herramienta

- ✓ Flexómetro
- ✓ Micrómetro mecánico con precisión de 0.025 mm
- ✓ Bascula para pesar material de carga aplicada
- ✓ Crayones, plumones y material de dibujo
- ✓ Lupa de 5 aumentos para observar fisuras y deformaciones como mínimo

3.1.1.4.2. Preparación de muestra

La probeta debe ser preparada de acuerdo a las especificaciones del fabricante, siendo sus dimensiones de ensaye a las de su comercialización (Figura 10).

3.1.1.4.3. Procedimiento

Después de 24 h de realizado el ensaye, se efectúan las mediciones de las deformaciones producidas y se registran, no debiendo presentarse deformaciones, fisuras y/o fracturas que afecten la seguridad estructural del sistema.



Figura 10. Aplicación de carga en el componente aligerante panel W.

3.1.1.4.4. Resultados

El panel deberá resistir las cargas totales de diseño (cargas de servicio multiplicadas por el factor de carga correspondiente) de una carga vertical uniformemente repartida de 190 kg/m², multiplicada por el factor de carga de 1.5 correspondiente a 285 kg/m² aplicadas perpendicularmente al plano de la losa sin rebasar una flecha de L/360, donde L es la longitud del claro mayor y recuperarse de su deformación al retirar la carga.

3.1.2. Método de prueba para sistema Vigueta-Bovedilla

Para todos los sistemas de losa las pruebas se realizarán 28 días después de haber sido colada la losa de compresión, la losa tendrá una dimensión de 40 cm por 60 cm de largo y un alto de 20 cm (Figura 11 y Figura 12) cuyas medidas son del tamaño de la base de la máquina universal que se encuentra en el laboratorio de Geotecnia, Materiales y Geomática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

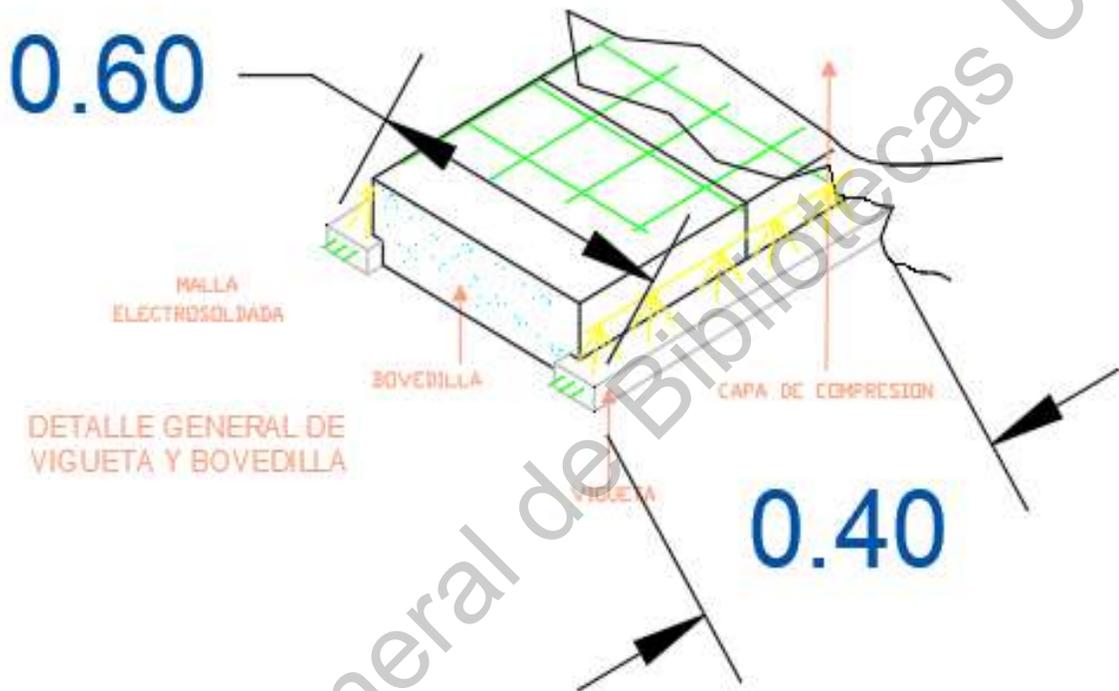


Figura 11. Isométrico en losa de Vigueta-Bovedilla a ensayar.

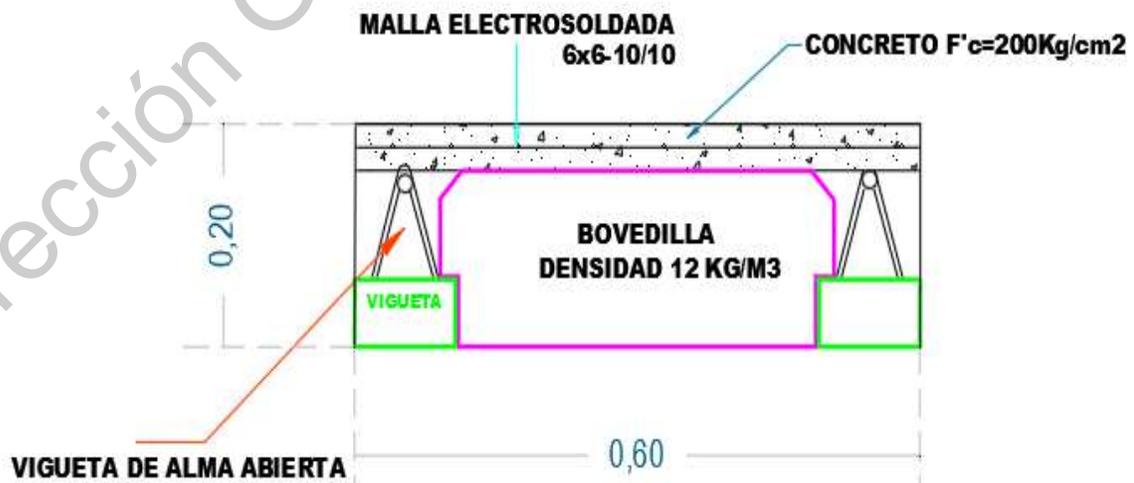


Figura 12. Vista frontal en losa de Vigueta-Bovedilla a ensayar.

3.1.2.1. Equipo y herramienta

- ✓ Flexómetro
- ✓ Micrómetro mecánico con precisión de 0.025 mm
- ✓ Bascula para pesar material de carga aplicada
- ✓ Crayones, plumones y material de dibujo
- ✓ Lupa de 5 aumentos para observar fisuras y deformaciones como mínimo

La muestra de ensaye del sistema se debe de preparar de acuerdo a las especificaciones del fabricante; se colocarán unos muretes o soportes fijos en el piso, perimetrales y no perimetrales según sea el sistema de losa, para evitar que se pueda voltear durante las maniobras de carga.

Estos apoyos deberán tener la altura mínima adecuada para poder colocar el equipo de instrumentación, y llevar a cabo las mediciones y observaciones en la probeta del sistema.

El micrómetro mecánico se instalará al centro del claro por la cara inferior de la muestra del sistema de losa.

3.1.2.2. Procedimiento

La carga de prueba será la carga viva especificada, incrementada en un 40% y se aplicará en cuatro etapas, registrando la deformación medida por los micrómetros en cada etapa, una de ellas corresponderá a la carga bajo condiciones de servicio.

La carga se aplicará distribuyéndola uniformemente sobre la superficie de la muestra (las unidades de carga no deberán quedar en contacto lateralmente para un efecto de arco) y podrán aplicarse cargas concentradas a los tercios del claro, que produzcan un momento equivalente.

Para el registro o medición de deformaciones debe esperarse hasta que el micrómetro se estabilice para hacer la lectura. Se tomarán otras lecturas 24 h después de aplicar la carga total y al descargar totalmente el sistema.

3.1.2.3. Resultado

La muestra se considera aceptada si cumple con las especificaciones para la carga de servicio. Si presenta falla el sistema se debe repetir una vez más el ensaye. Solo en caso de aprobar esta última se deberá realizar una tercera parte para obtener el resultado promedio definitivo.

3.1.2.4. Método de prueba para componente aligerante Bovedilla de poliestireno

3.1.2.4.1. Equipo y herramienta

- ✓ Flexómetro
- ✓ Micrómetro mecánico con precisión de 0.025 mm
- ✓ Bascula para pesar material de carga aplicada
- ✓ Crayones, plumones y material de dibujo
- ✓ Lupa de 5 aumentos para observar fisuras y deformaciones como mínimo

3.1.2.4.2. Preparación de muestra

Se satura por inmersión el componente antes del ensaye durante 24 h. Se apoya los componentes en sus cejas, sobre elementos portantes o sobre tablonés (Figura 13).

3.1.2.4.3. Procedimiento

Se aplica una carga de 981 N (100 kg) en un área de 100 cm² al centro de la bovedilla. Otros materiales que se puedan clasificar dentro de este tipo deben ser capaces de soportar la carga antes mencionada. La bovedilla de poliestireno se probará aplicando una carga de 981 N (100 kg) en un área de apoyo de 1 m² (Figura 13).

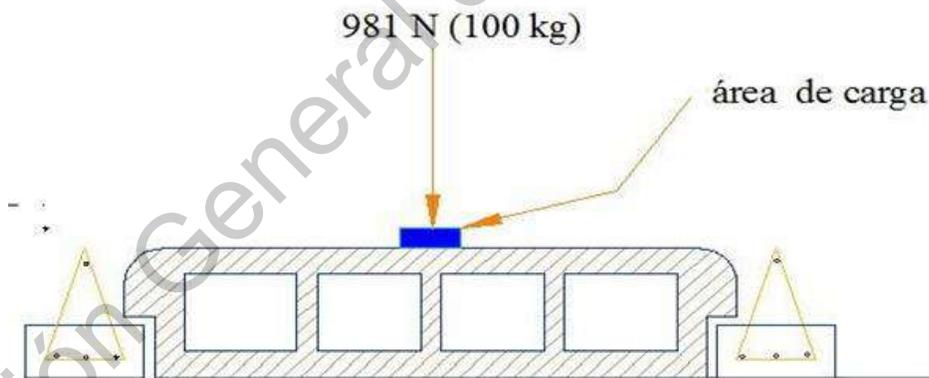


Figura 13. Aplicación de carga en el componente aligerante bovedilla de poliestireno. (Norma NMX-C -406 ONNCEE, 1997).

3.1.2.4.4. Resultados

Después de 24 h de realizado el ensaye, se efectúan las mediciones de las deformaciones producidas y se registran, no debiendo presentarse deformaciones, fisuras y/o fracturas que afecten la seguridad estructural del sistema.

En la Tabla 3 y Tabla 4 se muestran los estados de carga de los sistemas a ensayar.

Tabla 3. Estado de carga de la losa Vigueta-Panel W a ensayar.

Losa de entrepiso VIGUETA-PANEL W			
Material	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kg/m³)	Carga (kg/m²)
Capa de compresión f'c=200 kg/cm ²	0.05	2400	120
Malla electrosoldada 6x6-10/10			0.97
Cuña de concreto	0.048672	2400	117
Panel W semiestructural poliestireno 2 "			1.1648
Vigueta			31.2
Mortero	0.02	2100	42
Carga muerta adicional por reglamento		Concreto	20
Carga muerta adicional por reglamento		Mortero	20
Total de Carga Muerta (C_m)			352.1476
Carga Viva (C_v)			190
Carga Total ($C_v + C_m$)			542.1476

Tabla 4 . Estado de carga de la losa Vigueta-Bovedilla a ensayar.

Losa de entrepiso VIGUETA- BOVEDILLA			
Material	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kg/m³)	Carga (kg/m²)
Capa de compresión f'c=200 kg/cm ²	0.05	2400	120
Malla electrosoldada 6x6-10/10			0.97
Cuña de concreto	0.01456	2400	35
Bovedilla de poliestireno			1.4976
Vigueta			31.2
Carga muerta adicional por reglamento		Concreto	20
Carga muerta adicional por reglamento		Mortero	20
Total de Carga Muerta (C_m)			228.6116
Carga Viva (C_v)			190
Carga Total ($C_v + C_m$)			418.6116

3.1.3. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Panel W a ensayar

Se considera para este caso una carga viva máxima de 190 kg/m² de la tabla 5 de las NTC Mexicanas (2017) para una casa-habitación.

Tabla 5. Cargas Vivas Unitarias.

Cargas vivas unitarias, kN/m² (kg/m²)				
Destino de piso o cubierta	W	W _a	W _m	Observaciones
a) Habitación (casa-habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	0.8 (80)	1.0 (100)	1.9 (190)	1
b) Oficinas, despachos y laboratorios	1 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	2
c) Aulas	1 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	
d) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	0.4 (40)	1.5 (150)	3.5 (350)	3 y 4
e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	0.4 (40)	3.5 (350)	4.5 (450)	5
f) Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas)	0.4 (40)	2.5 (250)	3.5 (350)	5
g) Comercios, fábricas y bodegas	0.8W _m	0.9W _m	W _m	6
h) Azoteas con pendiente no mayor de 5 %	0.15 (15)	0.7 (70)	1 (100)	4 y 7
i) Azoteas con pendiente mayor de 5 %; otras cubiertas, cualquier pendiente.	0.05 (5)	0.2 (20)	0.4 (40)	4 y 7 8 y 9
j) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	0.15 (15)	0.7 (70)	3 (300)	
k) Garajes y estacionamientos (exclusivamente para automóviles)	0.4 (40)	1.0 (100)	2.5 (250)	10

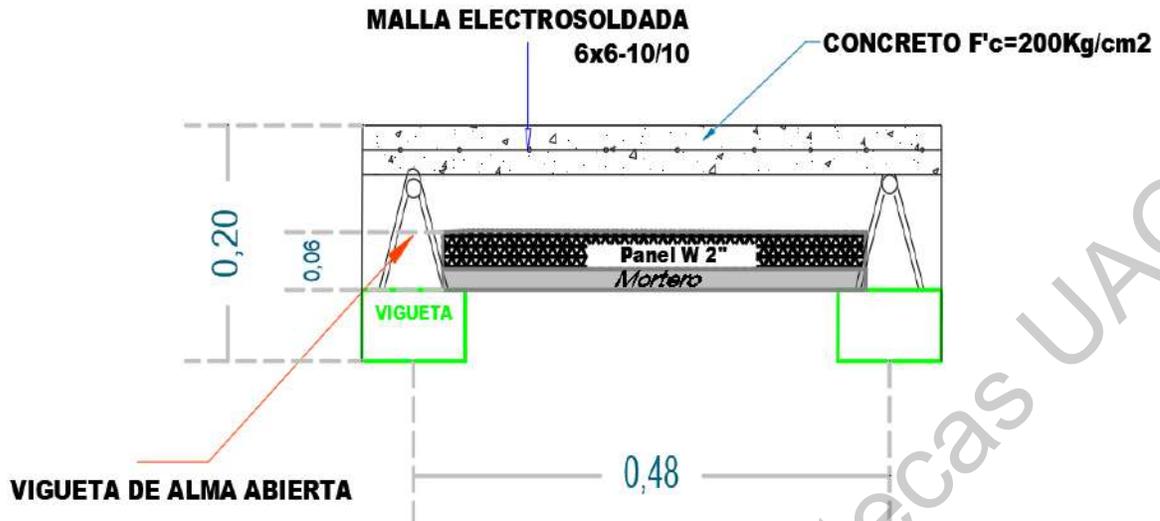


Figura 14. Corte transversal en losa de Vigueta-Panel W a ensayar.

El cálculo del peso de la vigueta por m² y el número de bloques de poliestireno a utilizar se repite que el sistema Vigueta-Bovedilla.

El peso por m² del bloque de poliestireno se obtiene multiplicando el número de bloques en un m² por el peso del bloque, obtenido de la ficha técnica (Figura 15).

CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SEMIESTRUCTURAL					
· Medidas estándar 1.22 m x 2.44 m					
PANEL	ESPESOR ESTRUCTURA (cm)	ESPESOR NÚCLEO (cm)	RETÍCULA (cm)	SEPARACIÓN DIAGONALES (cm)	PESO (kg/m ²)
Divisorio 1"	2.5	1.15	10.2 x 10.2	5.1	1.3
Divisorio 2"	5.1	3.88	10.2 x 10.2	10.2	1.4

Figura 15. Características del panel Semiestructural.

$$P_{\text{bloque}} = \left(1.4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) (0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m}) = 0.224 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{bloques}} = \frac{5.208}{\text{m}^2} \cdot 0.224 \text{ kgf} = 1.167 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Peso total de los bloques de poliestireno por m² de 1.167 kg.

Para el volumen de la cuña de concreto entre viguetas se obtiene calculando el área delineada de perímetro rojo (Figura 16) por la longitud de la vigueta.

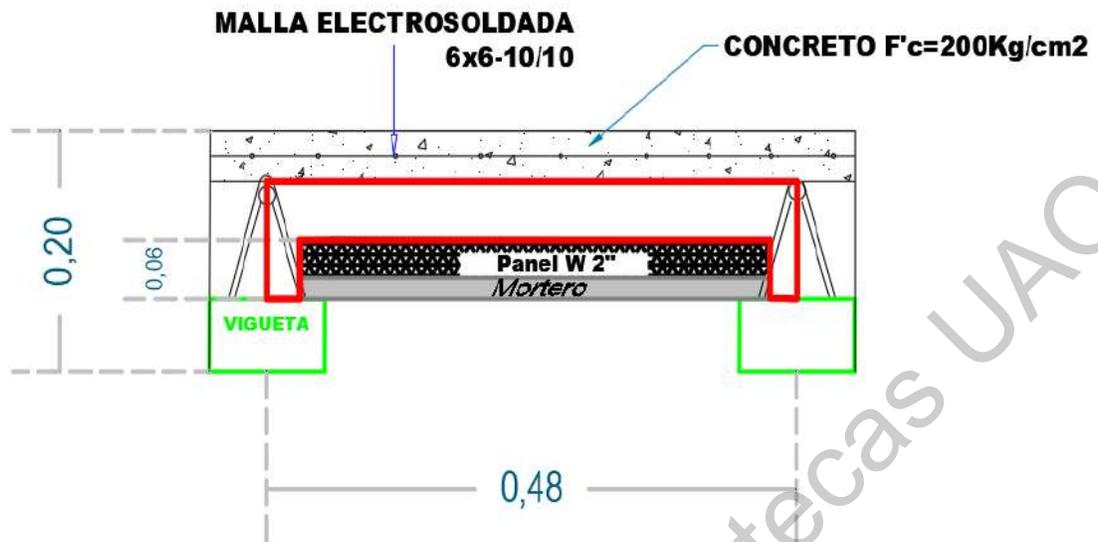


Figura 16. Cuña de concreto en losa de Vigüeta-Panel W a ensayar.

$$\text{Área}_{\text{cuña}} = (0,06 \text{ m} - 0,025 \text{ m}) \cdot 0,06 \text{ m} \cdot 2 + 0,04 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} = 0,023 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol}_{\text{cuña}} = 0,023 \text{ m}^2 \cdot 2,08 \text{ m} = 0,048 \text{ m}^3$$

Se necesita un volumen de 0.048 m³ por cada m².

3.1.4. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Bovedilla a ensayar

Se considera para este caso una carga viva máxima de 190 kg/m² de la tabla 5 de las NTC Mexicanas (2017) para una casa-habitación.

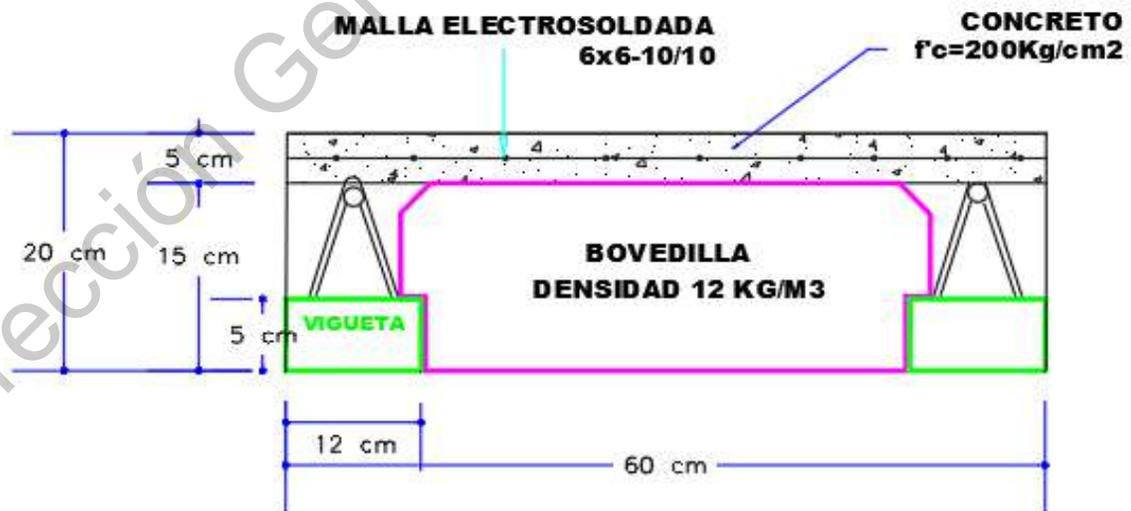


Figura 17. Corte transversal en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.

Para el cálculo de los metros lineales de viguetas en un m² de losa cuya separación entre ejes es de 48 cm (Figura 18) se obtiene de la siguiente forma:

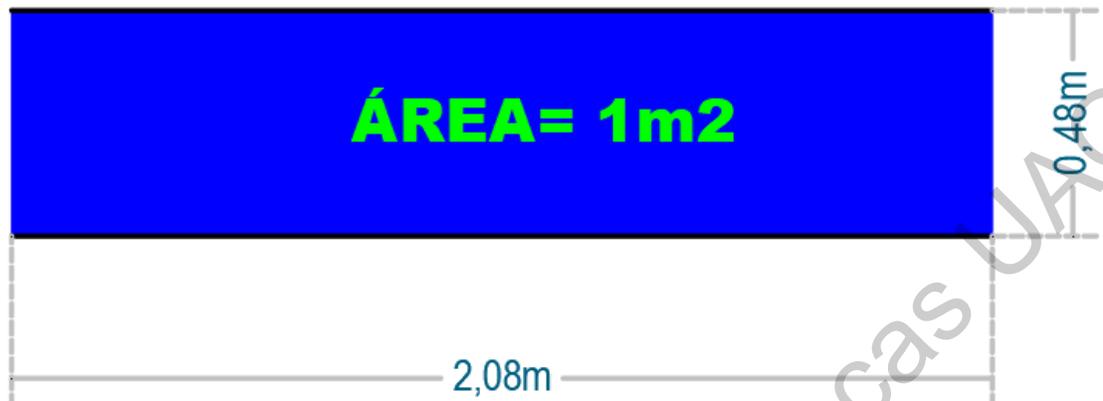


Figura 18. Metros lineales de vigueta @ 48 cm.

$$N.^\circ_{vig} = \left(\frac{1 \text{ m}^2}{0.48 \text{ m}} \right) = 2.083 \text{ m}$$

Se necesitan de 2.08 metros lineales de vigueta en 1 m².

El peso propio de la vigueta por m² se obtiene multiplicando el número de metros lineales obtenidos de la vigueta por el peso del material que se consiguieron de la ficha técnica.

$$P_{vig} = \frac{2.083 \text{ m}}{\text{m}^2} \cdot 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} = 31.245 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La bovedilla de nuestro ensaye tiene un ancho de 40 cm, para la obtención del número de bovedillas por m² divides el largo de nuestra área sombreada entre el ancho.

$$N.^\circ_{bov} = \left(\frac{2.083 \text{ m}}{0.40 \text{ m}} \right) = 5.208$$

Se necesitan de 5.208 bovedillas en 1 m².

El peso por m² de la bovedilla se obtiene multiplicando el número de bovedillas por la densidad y las dimensiones del bloque que se consiguieron de la ficha técnica.

$$P_{bov} = \frac{5.208}{\text{m}^2} \cdot \frac{12 \text{ kgf}}{\text{m}^3} \cdot (0.4 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m}) = 1.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Para el volumen de la cuña de concreto entre viguetas se obtiene restando el área completa de la semivigüeta libre con el área de la pestaña de la bovedilla (Figura 19) por la longitud lineal de la vigüeta.

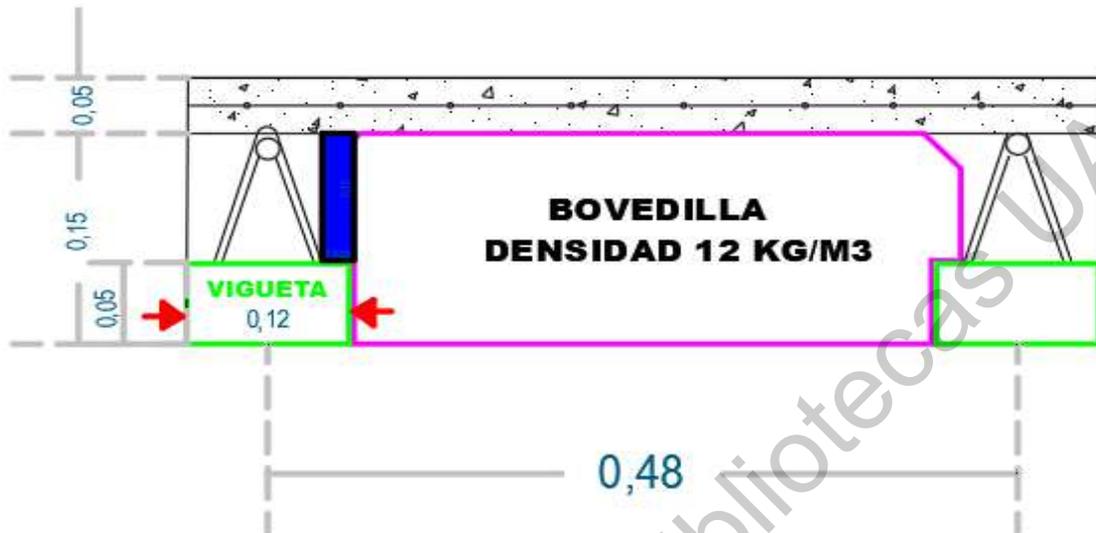


Figura 19. Cuña de concreto en losa de Vigüeta-Bovedilla a ensayar.

$$\text{Área}_{\text{cuña}} = 0,1 \text{ m} \cdot 0,12 \text{ m} - (2 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,025 \text{ m}) = 0,007 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol}_{\text{cuña}} = 0,007 \text{ m}^2 \cdot 2,08 \text{ m} = 0,015 \text{ m}^3$$

Se necesita un volumen de 0,015 m³ por cada m².

3.2. Análisis de comportamiento mediante la curva carga-deformación, tipo de falla y carga máxima aplicada.

3.2.1. Análisis de comportamiento para sistema Vigueta- Panel W

Se hizo una muestra representativa de una losa de 40 cm de ancho por 60 cm de largo y un alto de 20 cm (Figura 21) compuesta con viguetas de 5x12x15 y un bloque de panel divisorio 2" repellado con una capa de mortero (Figura 20, A).



Figura 20. A) Repellado del panel W por una cara con mortero B) Colocación de malla electrosoldada C) Preparación de mezcla D) Colado de la muestra.

La losa fue apoyada sobre dos vigas IPR ubicadas justo en cada extremo de la losa. Se aplicó una carga distribuida en el centro a lo largo del eje longitudinal, se colocó un deformímetro en la parte superior de la losa y se registró la deformación con la carga total en cada punto (Figura 21).



Figura 21. Sistema Vigueta-Panel W a ensayar.

3.2.2. Análisis de comportamiento para componente aligerante panel W

El panel deberá resistir las cargas totales de diseño (cargas de servicio multiplicadas por el factor de carga correspondiente) de una carga vertical uniformemente repartida de 190 kg/m^2 , multiplicada por el factor de carga de 1.5 correspondiente a 285 kg/m^2 aplicadas perpendicularmente al plano de la losa sin rebasar una flecha de $L/360$, donde L es la longitud del claro mayor y recupere su deformación al retirar la carga, de otra manera entraría en una deformación irreversible o permanente en que el material no regresa a su forma original después de retirar la carga aplicada (Figura 22).



Figura 22. Componente aligerante panel W con deformación irreversible.

3.2.3. Análisis de comportamiento para sistema Vigüeta- Bovedilla

Se hizo una muestra representativa de una losa de 40 cm de ancho por 60 cm de largo y un alto de 20 cm (Figura 23, C) compuesta con vigüetas de $5 \times 12 \times 15$ y un casetón de poliestireno de $40 \times 40 \times 15$.



Figura 23. A) Colocación de la malla electrosoldada B) Preparación de mezcla C) Colado de la muestra.

La losa fue apoyada sobre dos vigas IPR ubicadas justo en cada extremo de la losa. Se aplicó una carga distribuida en el centro a lo largo del eje longitudinal, se colocó un deformímetro en la parte superior de la losa y se registró la deformación con la carga total en cada punto (Figura 24).



Figura 24. Sistema Vigueta-Bovedilla a ensayar.

3.2.4. Análisis de comportamiento para componente aligerante bovedilla de poliestireno

Se aplica una carga de 981 N (100 kg) en un área de 100 cm^2 al centro de la bovedilla. Otros materiales que se puedan clasificar dentro de este tipo deben ser capaces de soportar la carga antes mencionada. La bovedilla de poliestireno se probará aplicando una carga de 981 N (100 kg) en un área de apoyo de 1 m^2 (Figura 25).



Figura 25. Componente aligerante bovedilla de poliestireno a ensayar.

3.3. Evaluación del patrón de agrietamiento dependiendo el tipo de falla (frágil, dúctil o balanceada).

Si el elemento estructural falla de manera dúctil se producen deflexiones considerables debido a que el acero empieza a fluir antes del colapso. Si el elemento falla de manera frágil presentando grietas a 45° generalmente llega al colapso de manera instantánea sin previo aviso. Si el elemento presentara falla balanceada alcanza su deformación de fluencia y el concreto alcanza su deformación límite en el mismo instante.

Se marcará las grietas con crayones o plumones para definir el modo de falla que pueda presentar la losa.

3.4. Evaluación comparativa de resistencia entre el sistema Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla.

Para evaluar estos sistemas se realiza un ensaye a flexión donde se muestra el comportamiento cuando está sometido a una carga determinada tal y como se muestra (Figura 26) que representa la curva carga-deformación por una carga aplicada en el centro de los elementos; hay 3 puntos durante el ensaye: 1) agrietamiento del concreto 2) resistencia última y finalmente 3) el aplastamiento del concreto.

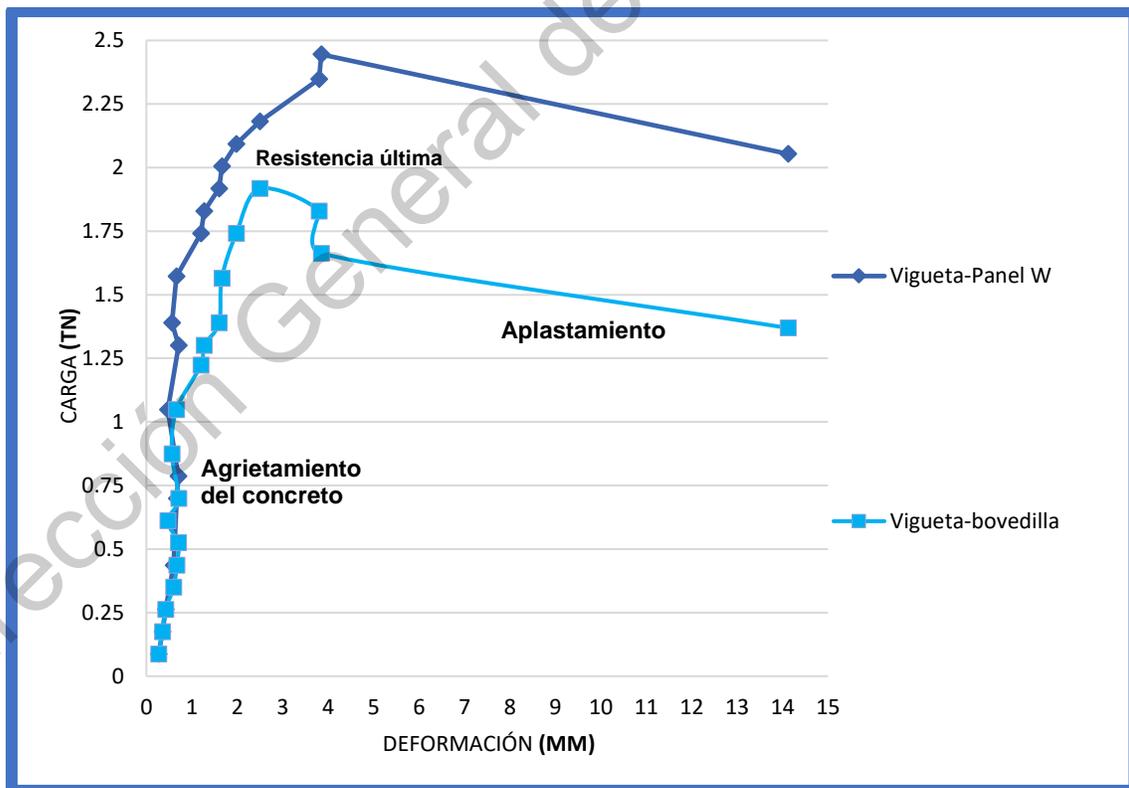


Figura 26. Curva carga-deformación de los elementos sometidos a flexión.

3.5. Análisis de precios Unitarios de Vigüeta-Panel W y Vigüeta-Bovedilla en ejemplo de casa habitación.

Se analizan generadores, rendimientos y materiales necesarios a utilizar para determinar la factibilidad de desarrollar el proyecto o simplemente decidir que dicha implementación es muy costosa y por lo tanto no es viable llevarlo a cabo, debido a que significaría un gasto económico elevado para los beneficios que el proyecto brindaría. Para esto se obtiene una descripción de una serie de conceptos de todas las partidas que conforman el proyecto, desglosando cada tarea que se llevaría a cabo y cuando se obtiene esta información se procede a realizar un análisis de matrices de precios unitarios de cada actividad, en la que se contempla el material, mano de obra, equipo y todo aquello que se requiera para su realización.

El prototipo Arquitectónico de 47.95 m² es una obra de una casa habitación que está ubicado en el Municipio de Apaseo el Alto, Guanajuato en la calle Independencia # 604 Col. Emiliano Zapata y consta de lo siguiente:

En planta baja, el proyecto tiene la siguiente distribución arquitectónica: cocina, sala, comedor, baño, dos recamaras y un patio de servicio. Los planos, generadores y rendimientos se muestran en el anexo A.

A continuación se desglosan las especificaciones que deben de cumplir los sistemas de losas de acuerdo a la norma para los elementos portantes (vigüetas) y para los elementos aligerantes.

3.5.1. Norma de cumplimiento

Los sistemas objeto deben cumplir con la norma NMX-C-406-ONNCCE-1997.

3.5.2. Componentes portantes

Los componentes portantes deben garantizar una continuidad estructural para que los elementos aligerantes queden debidamente apoyados en sus extremos con un mínimo de 2 cm para los sistemas que cuenten con anclaje y 5 cm para los sistemas sin anclaje. Además, los componentes portantes deben cumplir con los requisitos del punto 6.1 de la norma.

3.5.3. Componentes aligerantes

El diseño de los componentes aligerantes debe permitir durante el proceso constructivo soportar directamente el peso del concreto cuando este se vacía en el momento del colado sin sufrir deformaciones, fisuras o fracturas que afecten la seguridad de la estructura. Deben permitir mediante su diseño geométrico, la penetración del concreto en las cuñas durante el colado según lo especificado en el punto 6.2 de la norma (Figura 27).

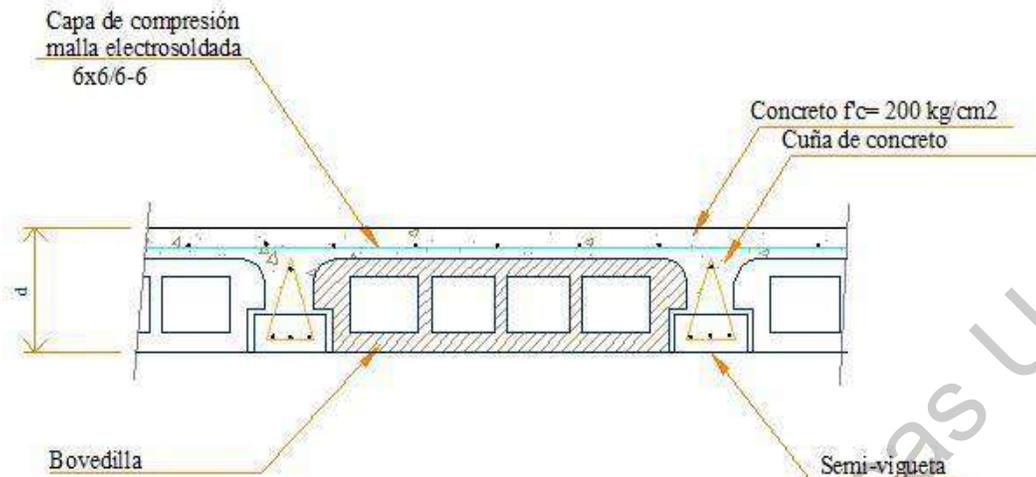


Figura 27. Cuña de concreto en Vigueta-Bovedilla. (NMX-C-406 ONNCE,1997).

3.5.4. Peraltes mínimos del sistema

Serán del claro (L) entre 25 y en volados de la longitud (L_v) entre 10.

3.5.5. Concreto colado en obra

El concreto que se cuela en la obra debe tener una resistencia de diseño mínima de 19,6 MPa (200 kg/cm²), fabricado con tamaño máximo de agregado de 19 mm (3/4") y debe vibrarse para asegurar su penetración en las cuñas.

3.5.6. Deformación y carga máxima del sistema

- ✓ El sistema de losa

Debe de ser capaz de soportar la carga total de diseño, según lo factores de carga que establece el reglamento de construcción correspondiente. La deformación (flecha) del sistema de losa medida respecto al plano horizontal y para la carga de servicio no excederá de $L/360$, donde L es la distancia entre centros de apoyos expresados en centímetros.

- ✓ Cargas Mínimas sobre losas de compresión

Para uso habitacional el sistema debe diseñarse para que la losa de compresión soporte una carga concentrada de 981 N (100 kg) al centro del claro entre dos elementos portantes (viguetas, bandas o placas), o de 1471,5 N (150 kg) a la mitad del claro libre del elemento portante (en lugar de la carga viva uniforme). En oficinas y laboratorios las cargas serán de 1471,5 N (150 kg) y 4905 N (500 kg) respectivamente. Para estacionamientos la carga aplicada debe ser de 14,715 N (1500 kg) en el punto más desfavorable.

3.5.7. Losa de compresión

La losa de compresión, que se vacía en obra debe tener los espesores (t) mínimos de la Tabla 6, en función de las características del sistema estructural global y de las longitudes de los claros de soporte.

Tabla 6. Losa de compresión.

Losa de compresión (capa de compresión)			
Espesor t (cm)	Claro L (m)	Altura de la estructura h (m)	Observaciones
$t \geq 3$	$L \leq 4$	$h \leq 13$	Estructura a base de muros
$t \geq 4$	$4 \leq L \leq 5$	$h > 13$	Revisar el comportamiento de diafragma rígido ante cargas laterales
$t \geq 5$	$5,5 \leq L \leq 8$	$h > 13$	
$t \geq 6$	$L \geq 8$	$h > 13$	

El espesor mínimo de la losa de compresión de acuerdo a las NTC Mexicanas (2017) no será menor de 60 mm si el claro mayor de los tableros es de 6 m o más. En ningún caso será menor de 30 mm.

3.5.8. Refuerzo Mínimo

El refuerzo está especificado en el punto 6.6 de la norma, menciona que debe ser ortogonal y podrá ser habilitado empleando mallas o varillas.

En la Tabla 7 y Tabla 8 se muestra el análisis de precios de cada sistema de losa respectivo aplicado en el ejemplo de casa habitación de 47.95 m².

Tabla 7. Análisis de precios unitarios de losa Vigueta-Panel W.

CONCEPTO				IMPORTE
LOSA DE ENTREPISO DE 20 CM DE ESPESOR, A BASE DE PANEL W DE POLIESTIRENO DE 63X122X3" Y SEMIVIGUETAS @75 CM ENTRE EJES, REPELLADO CON MORTERO DE 2 CM DE ESPESOR PROPORCIÓN 1:6. INCLUYE: APUNTALAMIENTO, CIMBRA PERIMETRAL, CAPA DE COMPRESIÓN DE 5 CMS DE ESPESOR CON CONCRETO F'C =200 KG/CM2, ARMADA CON MALLA ELECTROSOLDADA 6"-6"/10-10 Y REFUERZO ADICIONAL ENTRE SEMIVIGUETAS CON VARILLA DEL #3 (3/8" Ø).				\$ 53,477.04
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
CIMBRA PARA LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA, A BASE DE PUNTALES METÁLICOS 2.14 PZA POR M2, INCLUYE: FRENTES EN LOSA (CIMBRA PERIMENTAL), COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m ²	47.95	\$ 304.85	\$ 14,617.43
MATERIALES				
Puntal metálico telescópico con apertura de 1.75 m-3.00 m de altura	pza	0.30000	\$ 590.28	\$ 177.08
Cuadrilla; Carpintería (1 Carpintero+ 1 Ayudante)	jor	0.03126	\$ 2,878.33	\$ 89.98
Polín de madera de pino de 3"X3"X8'	pza	0.11000	\$ 91.41	\$ 10.06
Clavo con cabeza de 2 1/2 "	kg	0.17616	\$ 44.08	\$ 7.77
Tablón 1 1/2 "X10"X8'	pza	0.04000	\$ 366.85	\$ 14.67
Duela 1"X4"X10"	pza	0.01000	\$ 366.85	\$ 3.67
Alambre recocido cal 18	kg	0.04000	\$ 40.60	\$ 1.62
			COSTO DIRECTO	\$ 304.85
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.8 M. INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	8.4	\$ 185.25	\$ 1,556.10
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.80 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.62 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	7.86	\$ 185.25	\$ 1,456.07
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.62 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.50 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	1.5	\$ 182.25	\$ 273.38
MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.50 M	m	1.00000	\$ 103.00	\$ 103.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 182.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.99 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	9.95	\$ 182.25	\$ 1,813.39
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.99 M	m	1.00000	\$ 103.00	\$ 103.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 182.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.99 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	2.99	\$ 185.25	\$ 553.90
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.99 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 3.23 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	16.15	\$ 195.25	\$ 3,153.29
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 3.23 M	m	1.00000	\$ 116.00	\$ 116.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 195.25
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.42 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	2.42	\$ 185.25	\$ 448.31
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.42 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
REPELLADO EN HOJAS PANEL W ESTRUCTURAL 3"X1.22 M X2.44 M A PLOMO Y REGLA CON MORTERO PROPORCIÓN 1:6 HECHO EN UNA CARA DE 2 CM DE ESPESOR, INCLUYE: SUMINISTRO DE TODOS LOS MATERIALES CON SUS DESPERDICIOS, PREPARACION DE LA SUPERFICIE, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	33.8	\$ 193.31	\$ 6,533.88
MATERIALES				
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil +1 Peón)	jor	0.15385	\$ 1,021.33	\$ 157.13
Mortero Cemex 50 kg	saco	0.16834	\$ 171.68	\$ 28.90
Arena	m3	0.01818	\$ 400.19	\$ 7.28
			COSTO DIRECTO	\$ 193.31
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BLOQUES DE PANEL W REPELLADOS DE 63 X 122X 3", INCLUYE: ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	33.8	\$ 212.17	\$ 7,171.35
MATERIALES				
Panel W estructural poliestireno 3 "x 1.22 m x2.44 m	pza	0.35500	\$ 500.00	\$ 177.50
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.01250	\$ 2,773.76	\$ 34.67
			COSTO DIRECTO	\$ 212.17

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y TENDIDO DE CONCRETO F'C=200 KG/CM2 PREMEZCLADO, COLADO EN CAPA DE COMPRESION DE 5 CM DE ESPESOR, INCLUYE: BOMBEADO, COLADO, VIBRADO, CURADO, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m3	3.79	\$ 3,516.38	\$ 13,327.08
MATERIALES				
Servicio de bomba pluma para colocación de concreto de f'c=200 kg/cm2	m3	1.00000	\$ 250.00	\$ 250.00
Curacreto Blanco JR T1CA cuyo cubrimiento rinde 4 m2/lt para 7.6 m2/m3=1.9 lt/m3	lt	1.90000	\$ 43.34	\$ 82.35
Concreto F'c=200 kg/cm2, normal a 28 días, Bomba T.M.A 20MM, revenimiento 14cm	m3	1.08000	\$ 1,707.74	\$ 1,844.36
Renta de vibrador de gasolina marca URREA modelo VCG855 cap. 3600 VPM, con chicote de 6.00 mts, por 38 mm (1 1/2"), con motor de gasolina de 5.5 H. P.	hr	0.30320	\$ 18.60	\$ 5.64
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil+4 Ayudantes)	jor	0.20000	\$ 6,670.16	\$ 1,334.03
			COSTO DIRECTO	\$ 3,516.38
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
HABILITADO Y ARMADO DE MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO 6"x6"/10-10 PARA CAPA DE COMPRESIÓN EN LOSA DE ENTREPISO, INCLUYE: HABILITADO, ARMADO, CORTES, TRASLAPES, DESPERDICIOS, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	47.95	\$ 47.00	\$ 2,253.65
MATERIALES				
Malla electrosoldada 6"x6"/10-10	m2	1.10000	\$ 32.48	\$ 35.73
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.00333	\$ 2,773.76	\$ 9.24
Alambre recocido cal 18	kg	0.05000	\$ 40.60	\$ 2.03
			COSTO DIRECTO	\$ 47.00

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
HABILITADO DE ACERO DE REFUERZO ENTRE SEMIVIGUETA CON VARILLA DEL FY=4200 KG/CM2 No.3 (3/8") DE 50 CM LONGITUD, INCLUYE: ACARREO DE MATERIALES DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO DE ACERO, CORTES, DOBLECES, DESPERDICIOS, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	kg	7.24	\$ 44.09	\$ 319.21
MATERIALES				
Acero de refuerzo con varilla del N°3 (3/8" Ø)	kg	1.05000	\$ 26.22	\$ 27.53
Cuadrilla; Acero de Refuerzo. (1 Fierro + 1 Ayudante General)	jor	0.00526	\$ 2,877.46	\$ 15.14
Alambre recocido cal 18	kg	0.03500	\$ 40.60	\$ 1.42
			COSTO DIRECTO	\$ 44.09

Tabla 8. Análisis de precios unitarios de losa Vigueta-Bovedilla.

CONCEPTO				IMPORTE
LOSA DE ENTREPISO DE 20 CM DE ESPESOR, A BASE DE BOVEDILLA DE POLIESTIRENO DE 63X122X15" Y SEMIVIGUETAS @75 CM ENTRE EJES. INCLUYE: APUNTALAMIENTO, CIMBRA PERIMETRAL, CAPA DE COMPRESIÓN DE 5 CMS DE ESPESOR CON CONCRETO F'C =200 KG/CM2, ARMADA CON MALLA ELECTROSOLDADA 6"-6"/10-10 Y REFUERZO ADICIONAL ENTRE SEMIVIGUETAS CON VARILLA DEL #3 (3/8" Ø). REPELLADO CON MORTERO DE 2 CM DE ESPESOR PROPORCIÓN 1:6				\$ 53,989.81
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
CIMBRA PARA LOSA DE VIGUETA Y BOVEDILLA, A BASE DE PUNTALES METÁLICOS 2.14 PZA POR M2, INCLUYE: FRENTES EN LOSA (CIMBRA PERIMENTAL), COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	47.95	\$ 304.85	\$ 14,617.43
MATERIALES				
Puntal metálico telescópico con apertura de 1.75 m-3.00 m de altura	pza	0.30000	\$ 590.28	\$ 177.08
Cuadrilla; Carpintería (1 Carpintero+ 1 Ayudante)	jor	0.03126	\$ 2,878.33	\$ 89.98
Polín de madera de pino de 3"X3"X8'	pza	0.11000	\$ 91.41	\$ 10.06
Clavo con cabeza de 2 1/2 "	kg	0.17616	\$ 44.08	\$ 7.77
Tablón 1 1/2 "X10"X8'	pza	0.04000	\$ 366.85	\$ 14.67
Duela 1"X4"X10"	pza	0.01000	\$ 366.85	\$ 3.67
Alambre recocado cal 18	kg	0.04000	\$ 40.60	\$ 1.62
			COSTO DIRECTO	\$ 304.85
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.8 M. INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	8.4	\$ 185.25	\$ 1,556.10
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.80 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.62 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	7.86	\$ 185.25	\$ 1,456.07
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.62 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.50 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	1.5	\$ 182.25	\$ 273.38
MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.50 M	m	1.00000	\$ 103.00	\$ 103.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 182.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.99 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	9.95	\$ 182.25	\$ 1,813.39
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 1.99 M	m	1.00000	\$ 103.00	\$ 103.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 182.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.99 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	2.99	\$ 185.25	\$ 553.90
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.99 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 3.23 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	16.15	\$ 195.25	\$ 3,153.29
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 3.23 M	m	1.00000	\$ 116.00	\$ 116.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 195.25
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.42 M, INCLUYE: ACARREOS, ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m	2.42	\$ 185.25	\$ 448.31
MATERIALES				
VIGUETA TIPO 14X64 DE 2.42 M	m	1.00000	\$ 106.00	\$ 106.00
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.02857	\$ 2,773.76	\$ 79.25
			COSTO DIRECTO	\$ 185.25

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BOVEDILLA POLIESTIRENO 63 X 122X 15, DENSIDAD 12 KG/M3, INCLUYE: ELEVACIONES, COLOCACIÓN, MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	33.8	\$ 177.81	\$ 6,009.92
MATERIALES				
Bovedilla de poliestireno 63X122X15	pza	1.33400	\$ 107.30	\$ 143.14
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.01250	\$ 2,773.76	\$ 34.67
			COSTO DIRECTO	\$ 177.81
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
SUMINISTRO Y TENDIDO DE CONCRETO F'C=200 KG/CM2 PREMEZCLADO, COLADO EN CAPA DE COMPRESION DE 5 CM DE ESPESOR, INCLUYE: BOMBEADO, COLADO, VIBRADO, CURADO, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m3	3.79	\$ 3,516.38	\$ 13,327.08
MATERIALES				
Servicio de bomba pluma para colocación de concreto de f'c=200 kg/cm2	m3	1.00000	\$ 250.00	\$ 250.00
Curacreto Blanco JR T1CA cuyo cubrimiento rinde 4 m2/lit para 7.6 m2/m3=1.9 lit/m3	lt	1.90000	\$ 43.34	\$ 82.35
Concreto F'c=200 kg/cm2, normal a 28 días, Bomba T.M.A 20MM, revenimiento 14cm	m3	1.08000	\$ 1,707.74	\$ 1,844.36
Renta de vibrador de gasolina marca URREA modelo VCG855 cap. 3600 VPM, con chicote de 6.00 mts, por 38 mm (1 1/2"), con motor de gasolina de 5.5 H. P.	hr	0.30320	\$ 18.60	\$ 5.64
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil+4 Ayudantes)	jor	0.20000	\$ 6,670.16	\$ 1,334.03
			COSTO DIRECTO	\$ 3,516.38

CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
HABILITADO Y ARMADO DE MALLA ELECTROSOLDADA DE ACERO 6"x6"/10-10 PARA CAPA DE COMPRESIÓN EN LOSA DE ENTREPISO, INCLUYE: HABILITADO, ARMADO, CORTES, TRASLAPES, DESPERDICIOS, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	47.95	\$ 47.00	\$ 2,253.65
MATERIALES				
Malla electrosoldada 6"x6"/10-10	m2	1.10000	\$ 32.48	\$ 35.73
Cuadrilla; Albañilería. (1 Albañil + 1 Peón)	jor	0.00333	\$ 2,773.76	\$ 9.24
Alambre recocido cal 18	kg	0.05000	\$ 40.60	\$ 2.03
			COSTO DIRECTO	\$ 47.00
CONCEPTO	Unidad	Cantidad	Costo unitario	IMPORTE
HABILITADO DE ACERO DE REFUERZO ENTRE SEMIVIGUETA CON VARILLA DEL FY=4200 KG/CM2 No.3 (3/8") DE 50 CM LONGITUD, INCLUYE: ACARREO DE MATERIALES DENTRO DE LA OBRA, HABILITADO DE ACERO, CORTES, DOBLECES, DESPERDICIOS, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	kg	7.24	\$ 44.09	\$ 319.21
MATERIALES				
Acero de refuerzo con varilla del N°3 (3/8" Ø)	kg	1.05000	\$ 26.22	\$ 27.53
Cuadrilla; Acero de Refuerzo. (1 Fierro + 1 Ayudante General)	jor	0.00526	\$ 2,877.46	\$ 15.14
Alambre recocido cal 18	kg	0.03500	\$ 40.60	\$ 1.42
			COSTO DIRECTO	\$ 44.09

REPELLADO EN LOSA CON CEMENTO-ARENA EN PROPORCIÓN 1:6 DE 2 CM HASTA UNA ALTURA DE 2.4 METROS. INCLUYE: MATERIALES, EQUIPO DE SEGURIDAD, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA CORRECTA EJECUCIÓN.	m2	47.95	\$ 171.18	\$ 8,208.08
MATERIALES				
Cuadrilla; Albañilería (1 Albañil +1 Peón)	jor	0.10000	\$ 1,021.33	\$ 102.13
Mortero Cemex 50 kg	saco	0.30660	\$ 171.68	\$ 52.64
Arena	m3	0.04100	\$ 400.19	\$ 16.41
			COSTO DIRECTO	\$ 171.18

En la Tabla 9 y Tabla 10 se muestran los estados de carga de los sistemas en casa-Habitación.

Tabla 9. Estado de carga de la losa Vigüeta-Panel W.

Losa de entpiso VIGUETA-PANEL W			
Material	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kg/m³)	Carga (kg/m²)
Capa de compresión f'c=200 kg/cm ²	0.05	2400	120
Malla electrosoldada 6x6-10/10			0.97
Cuña de concreto	0.009	2400	21.6
Panel W estructural poliestireno 3 "			4.45197
Vigüeta			20
Mortero	0.02	2100	42
Carga muerta adicional por reglamento		Concreto	20
Carga muerta adicional por reglamento		Mortero	20
Total de Carga Muerta (C_m)			249.02
Carga Viva (C_v)			190
Carga Total ($C_v + C_m$)			439.02

Tabla 10. Estado de carga de la losa Vigüeta-Bovedilla.

Losa de entpiso VIGUETA- BOVEDILLA			
Material	Espesor (m)	Peso Volumétrico (kg/m³)	Carga (kg/m²)
Capa de compresión f'c=200 kg/cm ²	0.05	2400	120
Malla electrosoldada 6x6-10/10			0.97
Cuña de concreto	0.009	2400	21.6
Bovedilla de poliestireno			1.49
Vigüeta			20
Carga muerta adicional por reglamento		Concreto	20
Carga muerta adicional por reglamento		Mortero	20
Total de Carga Muerta (C_m)			204.06
Carga Viva (C_v)			190
Carga Total ($C_v + C_m$)			394.06

3.5.9. Cálculo del estado de carga para sistema Vigüeta-Panél W en casa habitación

Se considera para este caso una carga viva máxima de 190 kg/m² de la tabla 5 de las NTC Mexicanas (2017) para una casa-habitación.

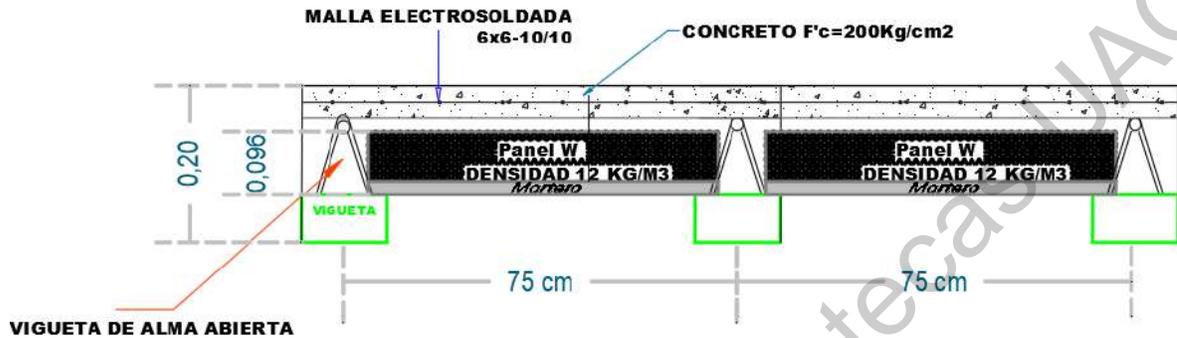


Figura 28. Corte transversal en losa de Vigüeta-Panél W para casa habitación.

El cálculo del peso de la vigüeta por m² y número de bloques de poliestireno a utilizar se repite que el sistema Vigüeta-bovedilla.

El peso por m² del bloque de poliestireno se obtiene multiplicando el número de bloques por el peso del bloque, obtenido de la ficha técnica (Figura 29).

CARACTERÍSTICAS DEL PANEL ESTRUCTURAL					
· Medidas estándar 1.22 m x 2.44 m					
PANEL	ESPEJOR ESTRUCTURA (cm)	ESPEJOR NÚCLEO (cm)	RETÍCULA (cm)	ANCHO ÚTIL por traslape (m)	PESO (kg/m ²)
Losa 3"	7.6	5.55	5.1 x 5.1	1.02	5.3

Figura 29. Características del panel estructural.

$$P_{\text{bloque}} = \left(5.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) (1.22 \text{ m} \cdot 0.63 \text{ m}) = 4.074 \text{ kgf}$$

$$P_{\text{bloques}} = \frac{1.093}{\text{m}^2} \cdot 4.074 \text{ kgf} = 4.453 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Peso total de los bloques de poliestireno por m² de 4.453 kg.

Para el volumen de la cuña de concreto entre vigüetas se repite que el sistema Vigüeta-Bovedilla.

3.5.10. Cálculo del estado de carga para sistema Vigueta-Bovedilla en casa habitación

Se considera para este caso una carga viva máxima de 190 kg/m² de la tabla 5 de las NTC Mexicanas (2017) para una casa-habitación.

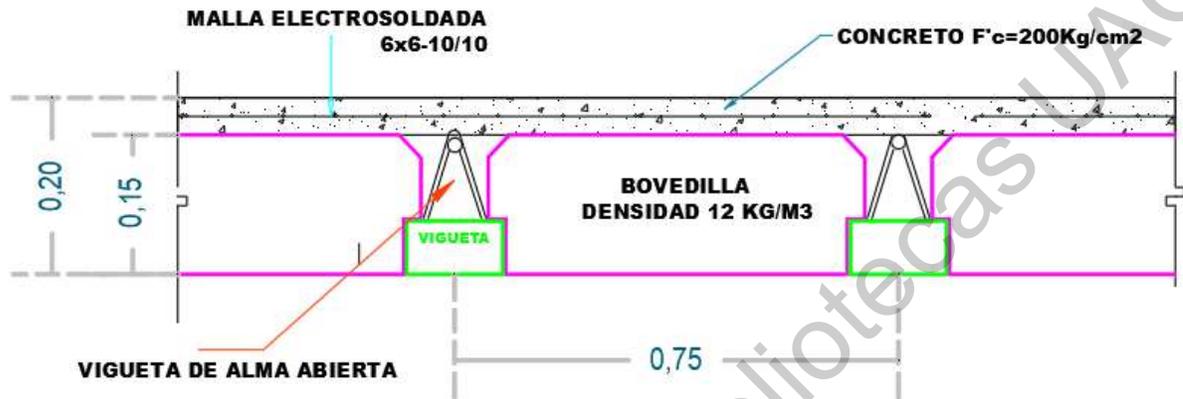


Figura 30. Corte transversal en losa de Vigueta-Bovedilla para casa habitación.

Para el cálculo de los metros lineales de viguetas en un m² de losa cuya separación entre ejes es de 75 cm (Figura 31) se obtiene de la siguiente forma:

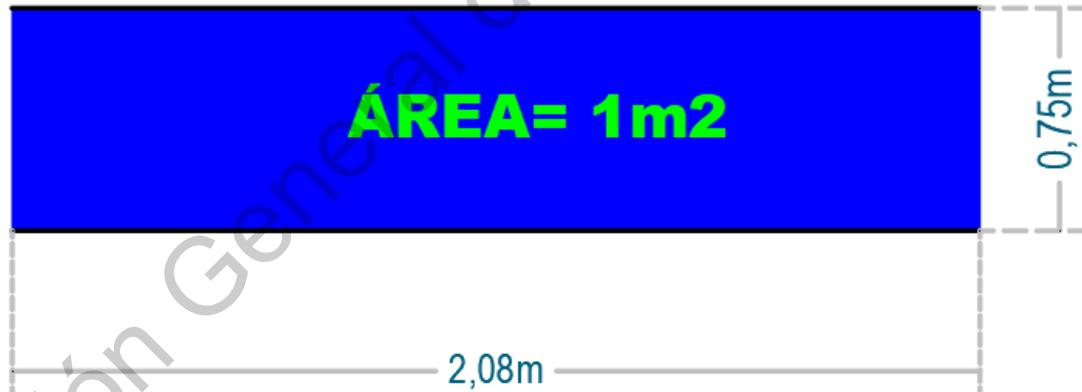


Figura 31. Metros lineales de vigueta @ 75 cm.

$$N.º_{vig} = \left(\frac{1 \text{ m}^2}{0.75 \text{ m}} \right) = 1.333 \text{ m}$$

Se necesitan de 1.333 metros lineales de vigueta en 1 m².

El peso propio de la vigueta por m² se obtiene multiplicando el número de metros lineales obtenidos de la vigueta por el peso del material que se consiguieron de la ficha técnica.

$$P_{vig} = \frac{1.333 \text{ m}}{m^2} \cdot 15 \frac{kgf}{m} = 20 \frac{kgf}{m^2}$$

La bovedilla de nuestro ensaye tiene un ancho de 1.22 m, para la obtención del número de bovedillas por m² divides el largo de nuestra área sombreada entre el ancho.

$$N.^\circ_{bov} = \left(\frac{1.333 \text{ m}}{1.22 \text{ m}} \right) = 1.093$$

Se necesitan de 1.093 bovedillas en 1 m².

El peso por m² de la bovedilla se obtiene multiplicando el número de bovedillas por la densidad y las dimensiones del bloque que se consiguieron de la ficha técnica.

$$P_{bov} = \frac{1.093}{m^2} \cdot \frac{12 \text{ kgf}}{m^3} \cdot (1.22 \text{ m} \cdot 0.63 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m}) = 1.512 \frac{kgf}{m^2}$$

Para el volumen de la cuña de concreto entre viguetas se obtiene restando el área completa de la semivigueta libre con el área de la pestaña de la bovedilla (Figura 13) por la longitud lineal de la vigueta.

$$\text{Área}_{cuña} = 0.10 \text{ m} \cdot 0.12 \text{ m} - (2 \cdot 0.1 \text{ m} \cdot 0.025 \text{ m}) = 0.007 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol}_{cuña} = 0.007 \text{ m}^2 \cdot 1.333 \text{ m} = 0.009 \text{ m}^3$$

Se necesita un volumen de 0.009 m³ por cada m².

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de resultados para sistema Vigueta- Panel W

Se describe en forma gráfica (Figura 32) el comportamiento a flexión de la losa Vigueta-Panel W, como se puede observar la losa fue cargada hasta alcanzar la falla, al principio se presentaron incrementos de carga a muy bajas deformaciones y se mantuvo constante la carga última de 2.445075 Tn y de inmediato perdió rigidez, es decir, el elemento se comportó en forma frágil se presentaron incrementos de carga a muy bajas deformaciones y se mantuvo constante la carga última hasta obtener una pérdida de carga súbita.

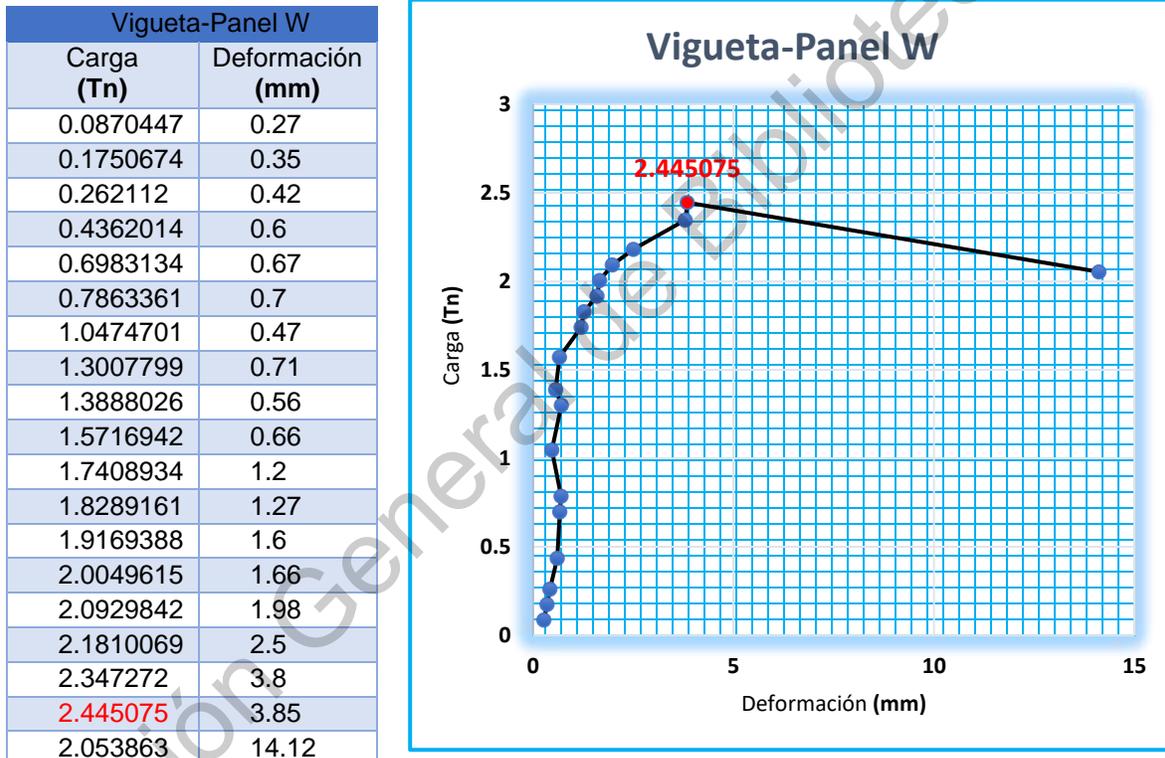


Figura 32. Curva carga-deformación del sistema Vigueta-Panel W.

Durante la falla de esta losa, se observó la formación de grietas a cortante (presentando un ángulo de 45°) cerca de los apoyos y se extendieron hasta el centro de la losa, es decir, el elemento comenzó a trabajar de manera frágil (Figura 33). Es muy desfavorable este comportamiento de la estructura debido a que no hay grandes deformaciones antes del colapso, y esto provoca que la estructura sea poco dúctil.



Figura 33. Patrón de grietas en cada claro del sistema Vigueta-Panel W.

4.2. Análisis de resultados para componente aligerante panel W

El panel resistió las cargas totales de diseño correspondiente a 285 kg/m^2 por el área de la muestra de 0.16 m^2 soportó una carga mayor a 45.6 kg aplicada perpendicularmente al plano de la losa sin rebasar una flecha de $L/360$, donde L es la longitud del claro igual a 40 cm y se recuperó de su deformación al retirar la carga. Soportó una carga igual a la de la Bovedilla de 150 kg sin deformarse el acero (Figura 34).



Figura 34. Panel W después de aplicar la carga de 150 kg con deformación reversible.

4.3. Análisis de resultados para sistema Vigueta-Bovedilla

Se describe en forma gráfica (Figura 35) el comportamiento a flexión de la losa Vigueta-Bovedilla, como se puede observar la losa fue cargada hasta alcanzar la falla, al principio se presentaron incrementos de carga a muy bajas deformaciones y se mantuvo constante la carga última de 1.916939Tn y de inmediato perdió rigidez, es decir, el elemento se comportó en forma frágil se presentaron incrementos de carga a muy bajas deformaciones y se mantuvo constante la carga última hasta obtener una pérdida de carga súbita.

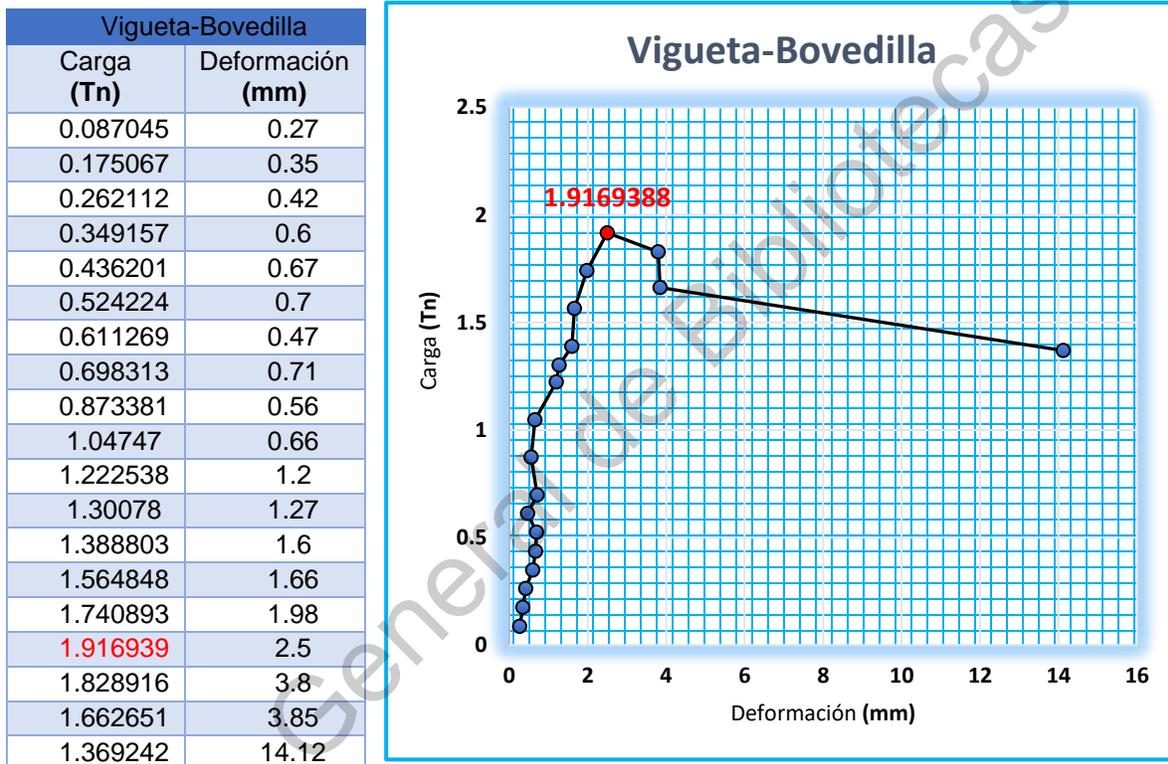


Figura 35. Curva carga-deformación del sistema Vigueta-Bovedilla.

Durante la falla de esta losa, se observó la formación de grietas inclinadas cerca de la aplicación de cargas concentradas, es decir, el elemento comenzó a trabajar de manera frágil (Figura 36) y se extendieron hasta el centro de la losa. Es muy desfavorable este comportamiento de la estructura debido a que no hay grandes deformaciones antes del colapso.



Figura 36. Patrón de grietas en cada claro de la losa Vigueta-Bovedilla.

4.4. Análisis de resultados para componente aligerante bovedilla de poliestireno

El componente de la bovedilla fallo con una carga de 150 kg presentando una grieta a 45° que se propago longitudinalmente desde el apoyo hacia el centro de la bovedilla (Figura 37).



Figura 37. Falla de bovedilla con 150 kg.

4.5. Evaluación del patrón de agrietamiento para sistema Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla

En general la muestra de la losa falló por cortante, se observó la formación de grietas inclinadas cerca de la aplicación de las cargas concentradas que se extendieron desde el centro de la losa y por toda la superficie provocando una ruptura a la mitad de la losa, es decir, se comporta de manera unidireccional (Figura 38 y Figura 39) ya que cada fracción de la carga total se transfirió en cada vigueta.



Figura 38. Comportamiento unidireccional de la losa Vigueta-Panel W.



Figura 39. Comportamiento unidireccional de la losa Vigueta-Bovedilla.

En ambos casos las losas fallaron por grietas de cortante que se extendieron desde una zona cercana de los apoyos hasta el centro de la losa, es muy desfavorable este comportamiento de la estructura debido a que hay deformaciones muy bajas y falla sin previo aviso, por lo que resulta inadecuado utilizar este sistema en elementos donde sea necesario un comportamiento dúctil

4.6. Evaluación comparativa de resistencia entre el sistema Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla

Se realizó una comparativa con los principales resultados obtenidos, como se puede observar (Figura 40) el sistema Vigueta-Panel W supera 27.6% del sistema Vigueta-Bovedilla.

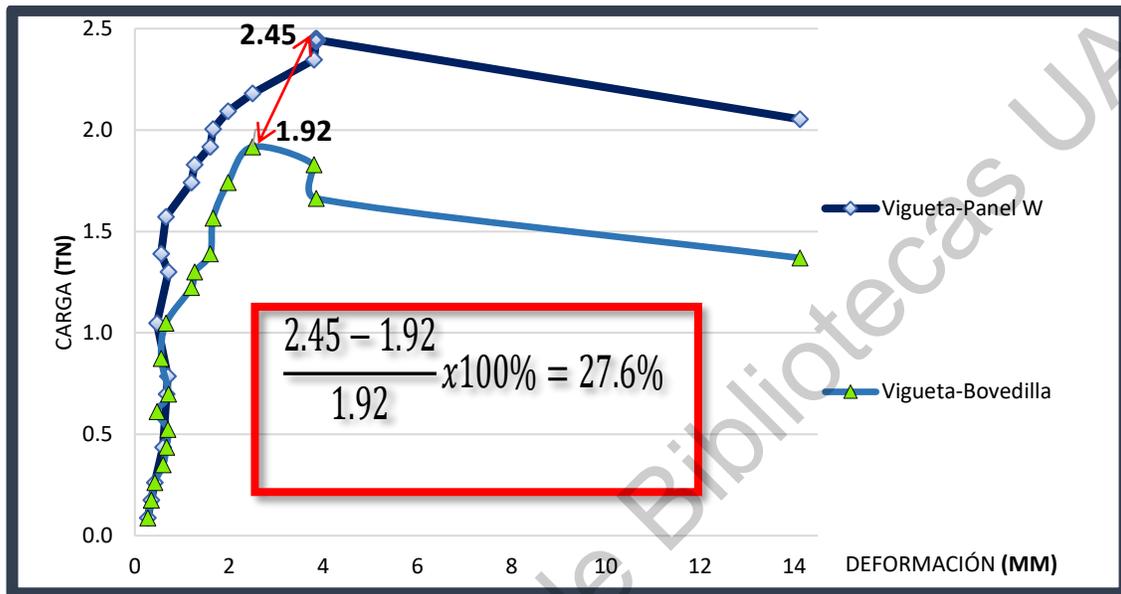


Figura 40. Curva carga-deformación de ambos sistemas de losas.

La comparativa muestra que la losa de Vigueta-Panel W obtuvo una resistencia significativamente mayor gracias al desempeño del acero galvanizado que protege al poliestireno adquiriendo un sistema con mayor resistencia y rigidez que lo hace viable para la construcción en casas-habitación y oficinas.

4.7. Evaluación comparativa de costos entre el sistema Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla por m².

Se realizó una comparativa con los principales resultados obtenidos, como se puede observar los costos son muy similares entre el sistema Vigueta-Panel W del sistema Vigueta-Bovedilla.

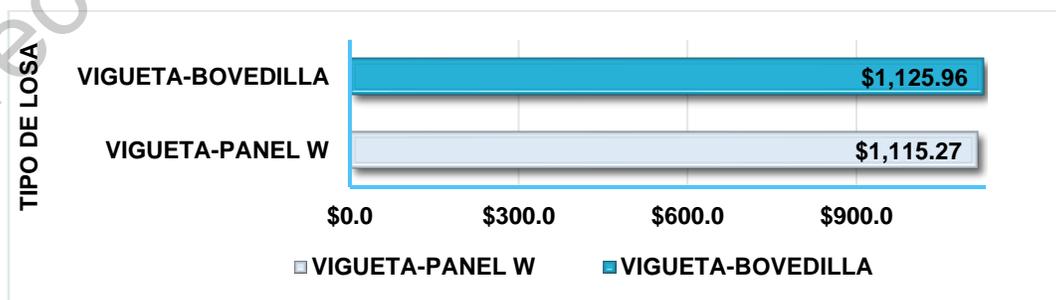


Figura 41. Costo por m² de cada tipo de losa.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se evaluó el comportamiento de las losas Vigueta-Panel W y Vigueta-Bovedilla mediante la curva carga-deformación donde se puede observar que las losas fueron cargadas hasta alcanzar la falla. Se observó principalmente la formación de grietas a cortante (presentando un ángulo de 45°) cerca de los apoyos y se extendieron hasta el centro de la losa, es decir, el elemento comenzó a trabajar de manera frágil provocando una ruptura a la mitad de las losas de manera unidireccional de tal manera que la carga se transfirió en cada vigueta.

La gráfica de la curva mostro que el sistema Vigueta-Panel W obtuvo una mayor resistencia con un 27.6 % a pesar de que el ensaye fue realizado con un panel semiestructural divisorio, este esfuerzo se debió a que el panel W está conformado por una malla de acero galvanizado que le proporciona una mayor rigidez, además si se utiliza un mortero adecuado para su recubrimiento se obtendrá un material resistente al fuego y un excelente aislante térmico y acústico. Para los componentes aligerantes de cada losa cumplieron con la norma respectiva, los cuales además soportaron una carga de 150kg.

Realizamos un cálculo de los estados de cargas a detalle de ambos sistemas de entrepisos donde se muestra un corte transversal de los diferentes elementos que lo conforman y el peso que aporta cada uno. Estimando que el peso propio de la estructura no es muy variable ya que ambos sistemas son livianos y fácil de maniobrar y no requiera mano de obra especializada.

En el aspecto económico y rendimientos de obra; hemos visto con el análisis de precios unitarios que los costos son muy similares, este aspecto pareciera a simple vista no otorgar muchos beneficios, sin embargo, resulta que el sistema Vigueta-Panel W en la etapa de repellado de losa se reducen los tiempos y costos en mano de obra. Esta ventaja, como sabemos, es una de las necesidades actuales más importantes disminuyendo los plazos de ejecución de los proyectos en obra. Ahora otro aspecto de gran relevancia; después de conocer la resistencia de ambos sistemas, concluimos que la losa Vigueta-Panel W nos ofrece un sistema de gran capacidad estructural, y al mismo tiempo otorga mayor seguridad que el sistema Vigueta-Bovedilla.

Se recomienda realizar más ensayos con panel estructural en el caso del sistema Vigueta-Panel W.

Las losas de este proyecto fallaron en forma frágil por cortante; por lo tanto, los diseñadores deben tomar en consideración el tipo de refuerzo y las cargas de diseño que se le dará al elemento, con el fin de evitar fallas frágiles.

6. REFERENCIAS

Aram, M. R., Czaderski, C., & Motavalli, M. (2008). Debonding failure modes of flexural FRP-strengthened RC beams. *Composites Part B: Engineering*, 39(5), 826–841. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.10.006>

Carcaño, R. G. S., & Chagoyán, A. R. S. (2013). Gestión De Riesgos De Seguridad Y Salud En Trabajos De Construcción. *Revista Educación En Ingeniería*, 8(16), 161–175. <http://www.educacioneningeneria.org/index.php/edi/article/view/304>

Gallo Ortiz, G., L. Espino Marquez, y A. Olvera Montes. 2001. DISEÑO ESTRUCTURAL DE CASAS HABITACIÓN. 2a ed. (MCGRAW-HILL, editor.). México, CDMX.

Kim, T., Kim, Y. woo, & Cho, H. (2020). Dynamic production scheduling model under due date uncertainty in precast concrete construction. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120527. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120527>

Li, M., M. Khelifa, y M. El Ganaoui. 2017. Mechanical characterization of concrete containing wood shavings as aggregates. *Int. J. Sustain. Built Environ.* 6:587–596. [doi:10.1016/j.ijsbe.2017.12.005](https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.12.005).

Mabrouk, R. T. S., Bakr, A., & Abdalla, H. (2017). Effect of flexural and shear reinforcement on the punching behavior of reinforced concrete flat slabs. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.019>

Martínez Dircio, J. México y la construcción industrializada. Available from: <http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/constru.htm>

Meli, R. 2002. DISEÑO ESTRUCTURAL. 2a ed. (LIMUSA, editor.). México, CDMX.

México, G. 2017. Normas Técnicas Complementarias de Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. En: G. de México, editor. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*. Ciudad de México. Available from: <http://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias.php>

Micallef, K., Sagaseta, J., Fernández Ruiz, M., & Muttoni, A. (2014). Assessing punching shear failure in reinforced concrete flat slabs subjected to localised impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 71, 17–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2014.04.003>

Obregón, P. C., y J. Fernando. 2008. Una nueva revolución industrial. IMCYC, 48–51. Available from:
<http://www.imcyc.com/ct2008/jun08/CTJUN08/PDF/INVITADO.pdf>

Ochshorn, J. 2010. Material properties. En: Structural Elements for Architects and Builders. Elsevier. p.61–71. Available from:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781856177719000039>

Polat, G. 2010. Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries. J. Civ. Eng. Manag. 16:85–94. doi:10.3846/jcem.2010.08.

PREMEX. 2013. MANUAL TÉCNICO DE LOSAS PREFABRICADAS. 6a ed. (B. R. Rafael, editor.). México, CDMX. Available from:
http://www.premex.com.mx/uploads/1/6/2/4/16245520/manualtecnicopremex_10octok.pdf

Salas, J. (2008). De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: Algunas claves del cambio tecnológico. Informes de La Construcción, 60(512), 19–34. <https://doi.org/10.3989/ic.07.001>

Salazar, C. S. (2002). Suárez Salazar Carlos Costo Y Tiempo en Edificación.pdf (p.375). (Salazar, 2002)

Zhang, W., Zhang, Y., Li, H., & Gu, X. (2020). Experimental investigation of fatigue bond behavior between deformed steel bar and concrete. Cement and Concrete Composites, 108, 103515.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103515>

7. ANEXO A

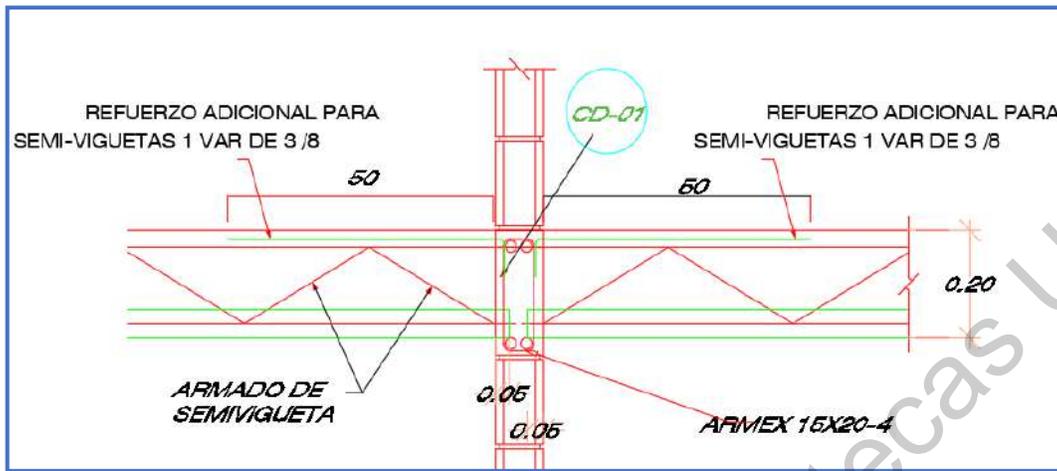


Figura A1. Detalle de refuerzo adicional para semiviguetas.

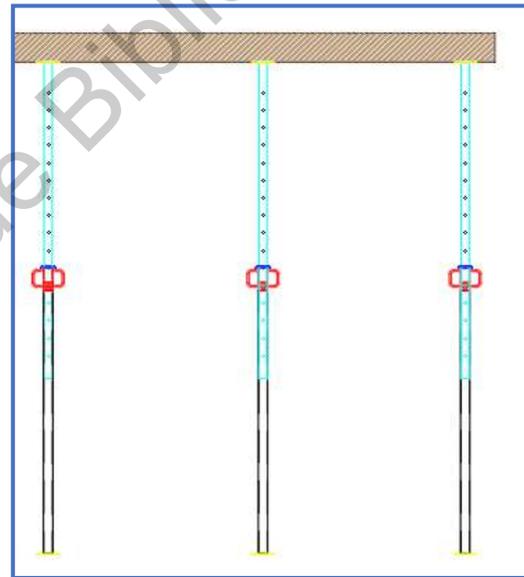


Figura A2. Cimbra con puntales metálicos.

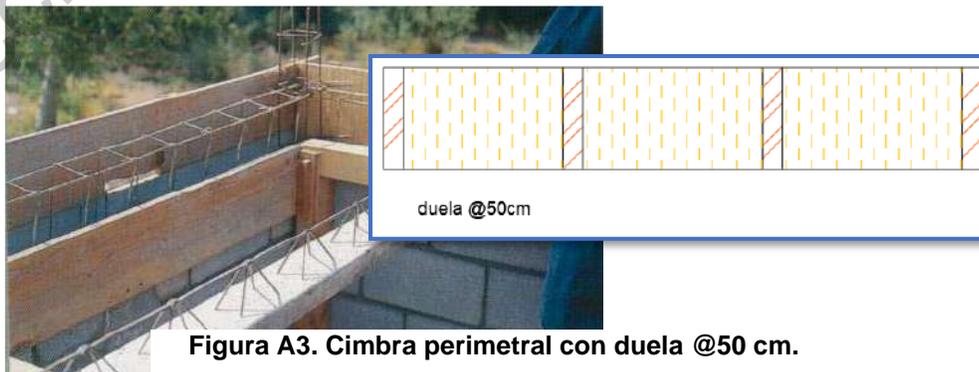


Figura A3. Cimbra perimetral con duela @50 cm.

Se consideran los siguientes rendimientos de mano de obra en el análisis de precios unitarios:

- Cimbra perimetral

Cuadrilla MOCU-001 (1 Carpintero+ 1 Ayudante en general)

$$\text{Rendimiento: } \frac{46 \text{ m}^2}{\text{jor}}$$

- Colocación y nivelación de puntales

Cuadrilla MOCU-001 (1 Carpintero+ 1 Ayudante en general)

$$\text{Rendimiento: } \frac{105 \text{ m}^2}{\text{jor}}$$

$$jor_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{46 \text{ m}^2} + \frac{1 \text{ jor}}{105 \text{ m}^2} = 0.03126 \frac{\text{jor}}{\text{m}^2}$$

- Colocación de semivigueta

Cuadrilla MOCU-002 (1 Oficial albañil + 1 Peón)

$$\text{Rendimiento: } \frac{35 \text{ ml}}{\text{jor}}$$

$$jor_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{35 \text{ ml}} = 0.02857 \frac{\text{jor}}{\text{ml}}$$

- Colocación de bovedilla de poliestireno

Cuadrilla MOCU-002 (1 Oficial albañil + 1 Peón)

$$\text{Rendimiento: } \frac{80 \text{ m}^2}{\text{jor}}$$

$$jor_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{80 \text{ m}^2} = 0.0125 \frac{\text{jor}}{\text{m}^2}$$

- Colocación de Concreto

Cuadrilla MOCU-003 (1 Oficial albañil + 4 Ayudantes)

$$\text{Rendimiento: } \frac{5 \text{ m}^3}{\text{jor}}$$

$$jor_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{5 \text{ m}^3} = 0.2 \frac{\text{jor}}{\text{m}^3}$$

- Colocación de Malla electrosoldada 66-1010

Cuadrilla MOCU-002 (1 Oficial albañil + 1Peón)

$$\text{Rendimiento: } \frac{300 \text{ m}^2}{\text{jor}}$$

$$jor_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{300 \text{ m}^2} = 0.003333 \frac{\text{jor}}{\text{m}^2}$$

- Colocación de acero de refuerzo

Cuadrilla MOCU-004 (1 Oficial herrero + 1 ayudante)

Rendimiento: $\frac{190 \text{ kg}}{\text{jor}}$

$$\text{jor}_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{190 \text{ kg}} = 0.005263 \frac{\text{jor}}{\text{kg}}$$

- Repellado de losa Vigueta-Bovedilla

Cuadrilla MOCU-005 (1 Oficial albañil + 1 peón)

Rendimiento: $\frac{10 \text{ m}^2}{\text{jor}}$

$$\text{jor}_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{10 \text{ m}^2} = 0.1 \frac{\text{jor}}{\text{m}^2}$$

- Repellado de losa Vigueta-Panel W

Cuadrilla MOCU-005 (1 Oficial albañil + 1 peón)

Rendimiento: $\frac{6.5 \text{ m}^2}{\text{jor}}$

$$\text{jor}_{total} = \frac{1 \text{ jor}}{6.5 \text{ m}^2} = 0.153846 \frac{\text{jor}}{\text{m}^2}$$

Se consideran los siguientes rendimientos y desperdicios de los materiales en el análisis de precios unitarios:

- Clavos 2 ½":

Rendimiento: $\frac{36 \text{ pzas}}{\text{m}^2}$

$$\frac{36 \text{ pzas}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{235 \text{ pzas}} = \frac{0.15319 \text{ kg}}{\text{m}^2}$$

Se considera un 15% de desperdicio para los clavos

$$\frac{0.15319 \text{ kg}}{\text{m}^2} \cdot 1.15 = 0.17616 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

ESPECIFICACIONES	
Calibre	10.5
Largo	2-1/2"(64mm)
Clavos por kg (Aproximados)	235

Tabla A1. Ficha técnica de clavos 2- ½" marca Fiero.

- Alambre recocido calibre 18

$$\text{Rendimiento: } \frac{51.4 \text{ m}}{\text{kg}}$$

Alambre Recocido	
Calibre	15 1/4
Diámetro (mm)	1.78
Rendimiento (m/kg)	51.4
Peso del rollo (kg)	60

Tabla A2. Rendimiento de alambre recocido.

$$\frac{88.34 \text{ m}}{\frac{51.4 \text{ m}}{\text{kg}} \cdot 47.94 \text{ m}^2} = 0.0359 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

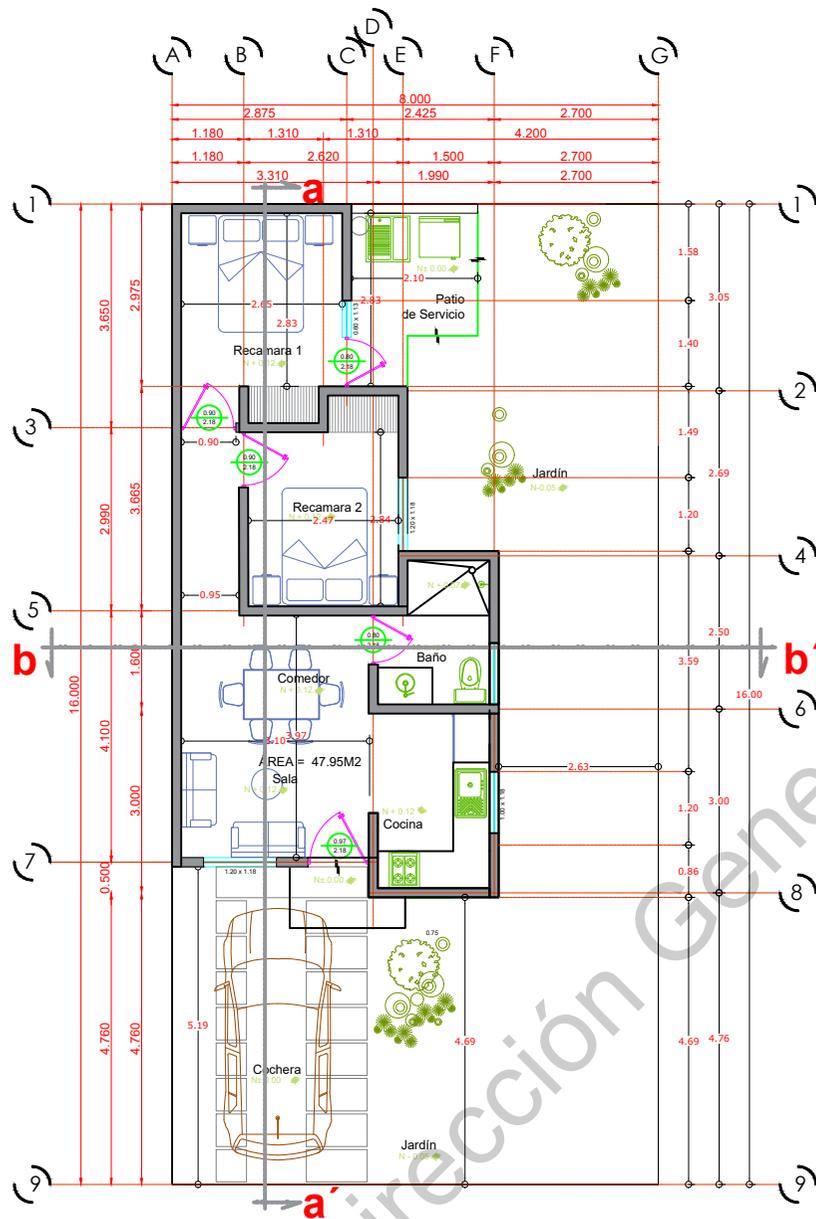
Se considera un 10% de desperdicio para el alambre

$$\frac{0.15319 \text{ kg}}{\text{m}^2} \cdot 1.10 = 0.04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

En la siguiente tabla se muestra la cimbra a utilizar con sus respectivos factores.

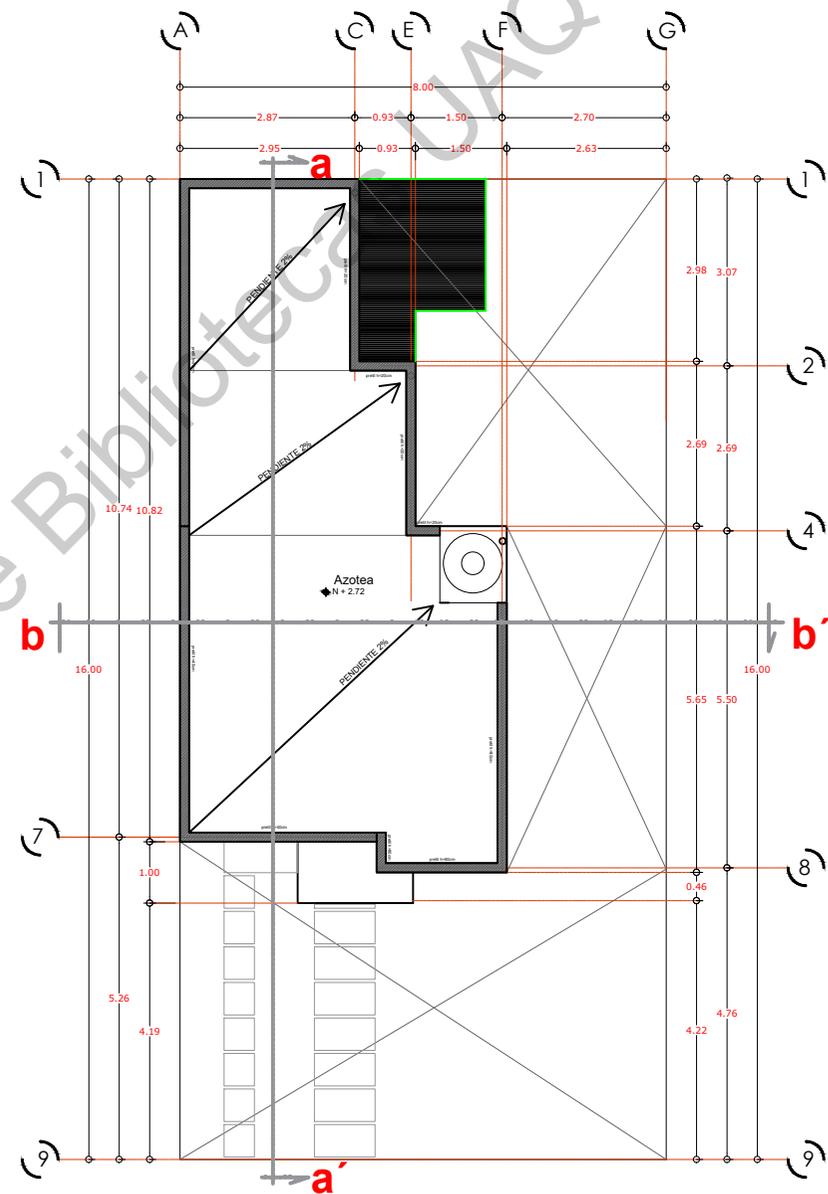
Elemento	Nº Pzas	Factor de desperdicio	Cant.PZAS/ m2	Factor de usos	Cant.PZAS / m2/uso
Pie derecho metálico	2.1481	1.125	2.416579771	0.125	0.30
Madrina 3"x3"x8'	0.7551	1.125	0.849437597	0.125	0.11
Tabla 1 1/2"x10"x8'	0.2853	1.125	0.320967025	0.125	0.04
Duela 1 1/2"x10"x8'	0.0565	1.125	0.063604506	0.125	0.01

Tabla A3.Total de cimbra a utilizar para casa-habitación de 47.95 m²



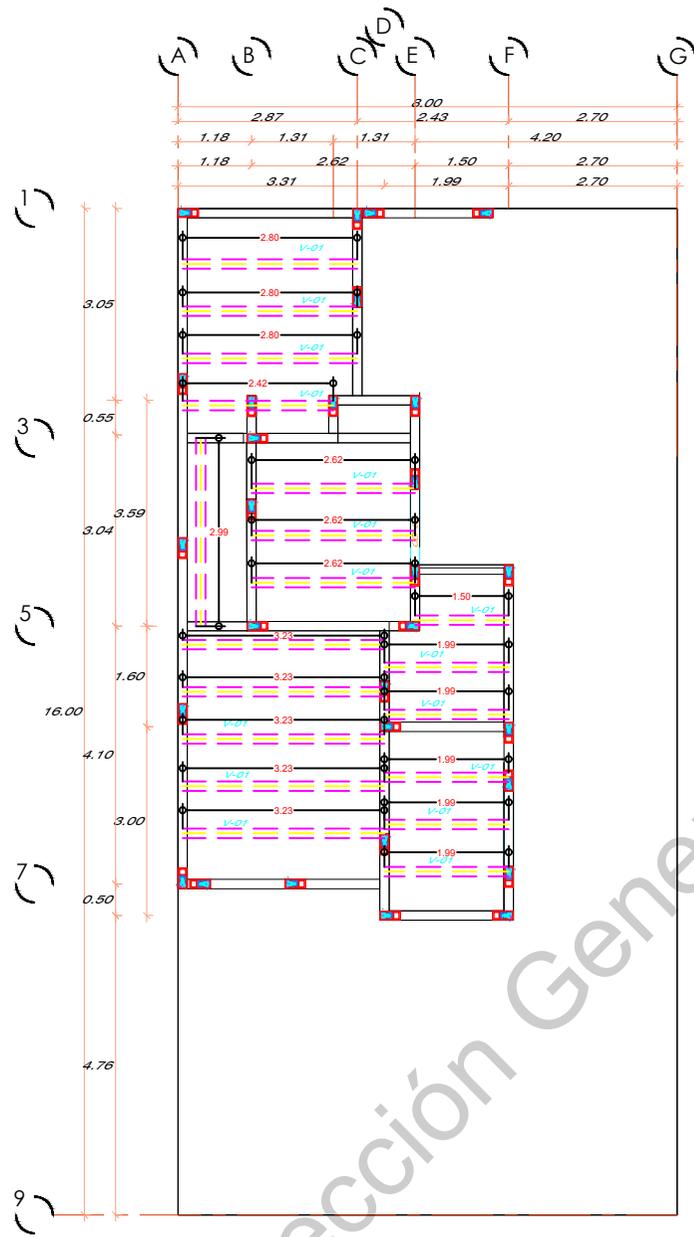
PROTOTIPO B PLANTA BAJA

47.95 m²

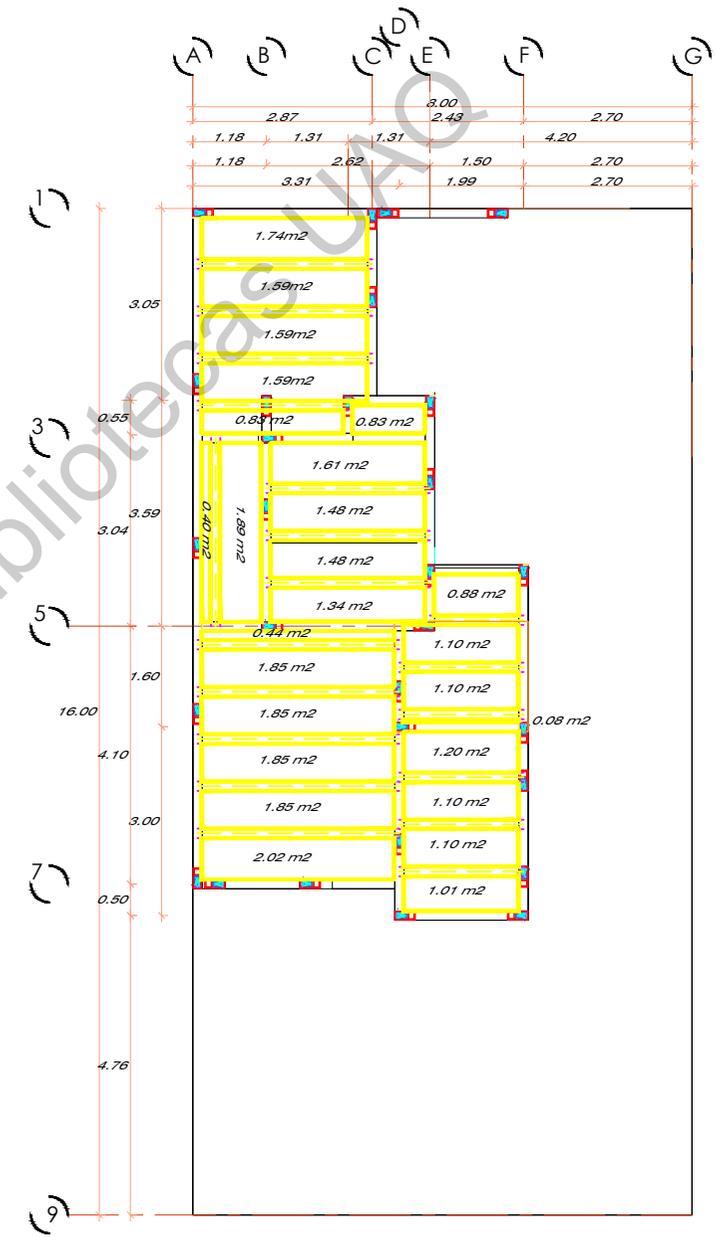


PROTOTIPO B AZOTEA

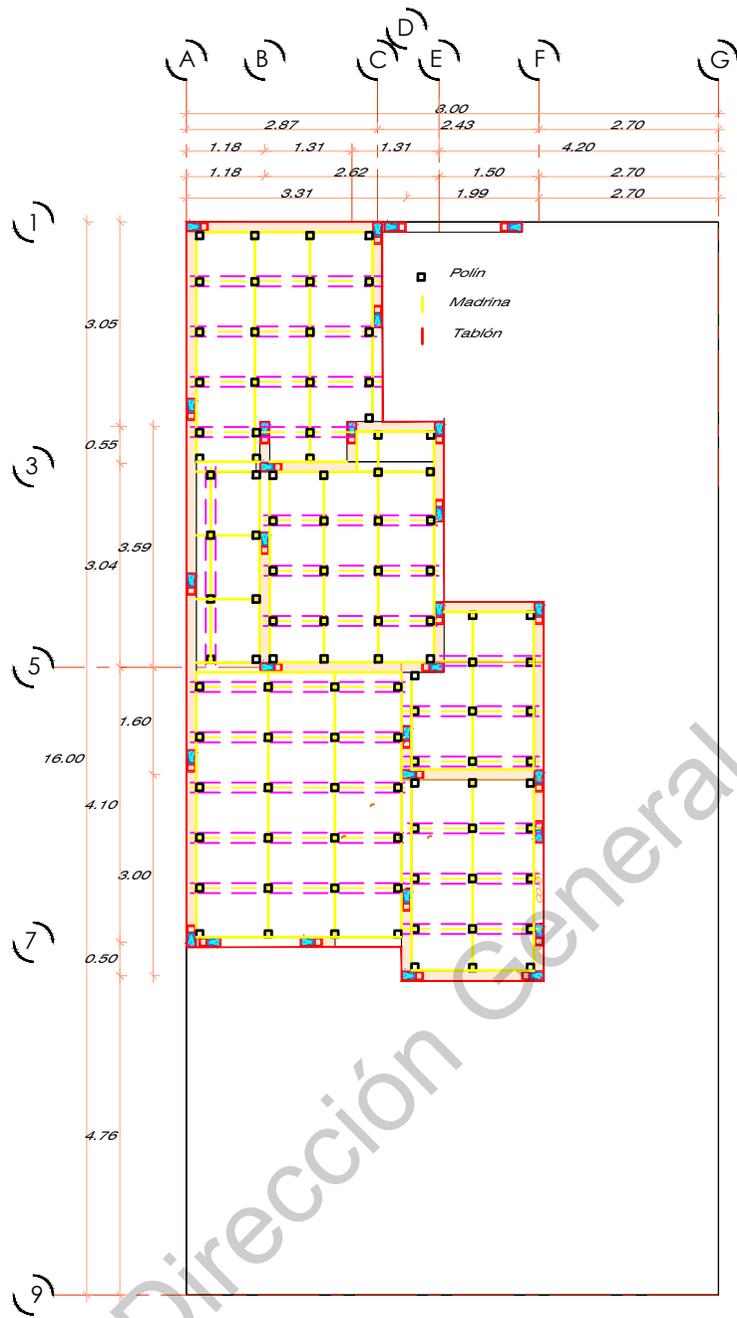
47.95 m²



LOSA DE AZOTEA
VIGUETAS

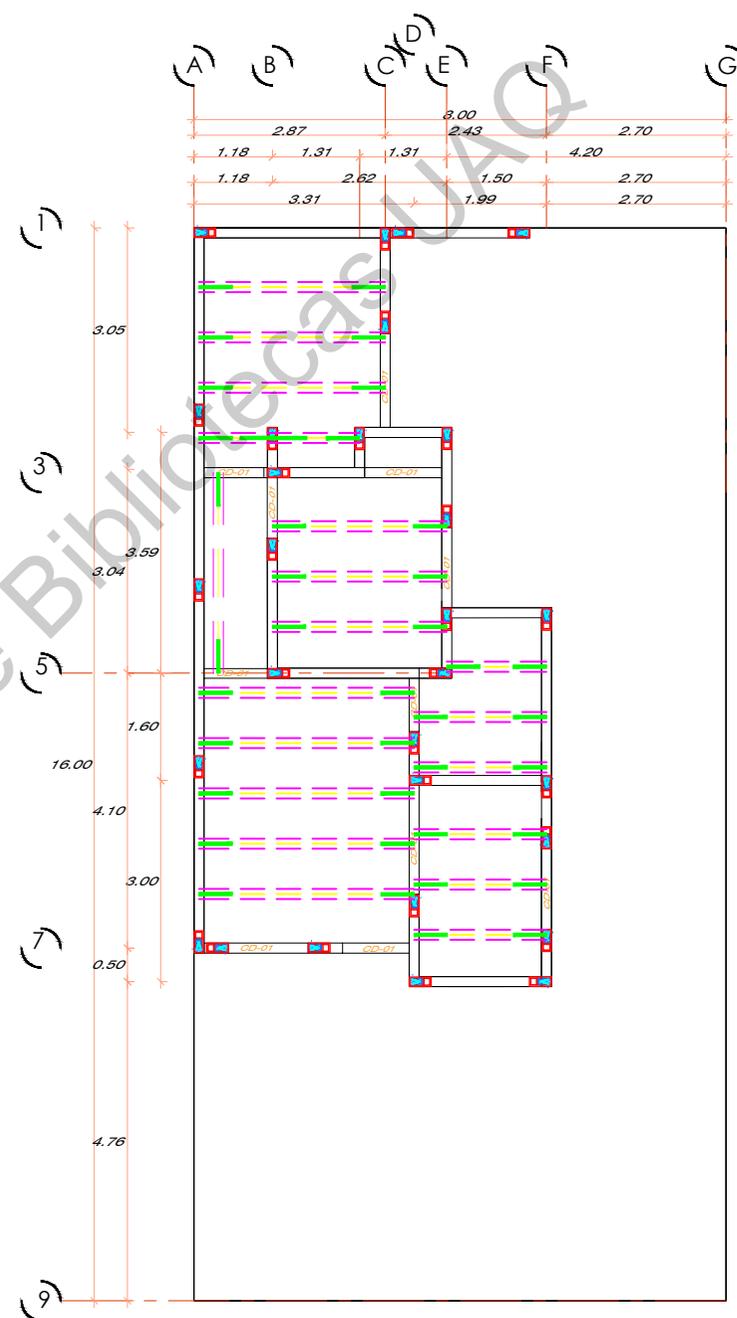


LOSA DE AZOTEA
BOVEDILLA



LOSA DE AZOTEA

Cimbra



LOSA DE AZOTEA

Refuerzo Adicional