

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

### ELEMENTOS PREFABRICADOS-PRETENSADOS DE MONTAJE MANUAL PARA TECHOS Y ENTREPISOS DE LA VIVIENDA SOCIAL

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil

#### **AUTOR:**

ANTONIO MARCOS SACOTO TOLEDO

#### **DIRECTOR:**

ING. NELSON NAVARRO CAMPOS. Ph.D.

**CUENCA-ECUADOR**

OCTUBRE 2016



## RESUMEN

En la ciudad de Cuenca-Ecuador, la mayoría de construcciones de edificaciones usan soluciones tradicionales (hormigón armado *in situ*), que en viviendas pequeñas de personas con recursos económicos-técnicos limitados, su calidad termina dependiendo de la mano de obra. Paralelamente, la aplicación de tecnologías constructivas tendientes a la prefabricación e industrialización de la construcción en edificaciones, como el hormigón pretensado, viables de implementar en proyectos de construcción masiva como vivienda social, es escasa.

El presente estudio desarrolla parte de la solución constructiva vigueta-bovedilla mediante el diseño estructural de vigas prefabricadas-pretensadas de montaje manual, para mejorar la construcción de entresijos y techos de la vivienda social, al ser la etapa más compleja de ejecutar en obra.

En base a la revisión de bibliografía y proyectos de vivienda social construidos en Ecuador, se describe la solución constructiva adoptada, que incluye la aplicación del hormigón pretensado, se caracterizan los techos y entresijos usados en vivienda social, planteando el escenario de trabajo del presente estudio. Luego, empleando herramientas de cálculo, manuales y computacionales, se realiza el diseño estructural de las vigas prefabricadas pretensadas, aplicando normas y códigos de diseño aceptados por la legislación ecuatoriana.

El resultado que se obtiene es una serie de vigas prefabricadas-pretensadas, especificando su forma y dimensiones. También, se describe el proceso de montaje manual de las vigas en obra.

Finalmente, después de comparar la solución propuesta respecto a la tradicional se concluye que la solución vigueta-bovedilla resulta factible de aplicar en vivienda social.

**Palabras Calves:** solución vigueta-bovedilla, vivienda social, hormigón pretensado, diseño estructural, montaje manual.



## ABSTRACT

In the city of Cuenca-Ecuador, most constructions of buildings using traditional solutions (reinforced concrete *in situ*), which in small dwellings of economic-technical limited resources, quality finishes depending on the workforce. In parallel, the application of tending to prefabrication and industrialization of construction in buildings such as prestressed concrete, feasible to implement in massive construction projects such as social housing, construction technologies is scarce.

This study develops the constructive solution of beam-slab by the structural design of precast-prestressed beams manual assembly, to improve the construction of mezzanines and ceilings of social housing, being the most complex stage of executing in work.

Based on the review of literature and social housing projects built in Ecuador, constructive solution adopted, which includes the application of prestressed concrete is described, ceilings and mezzanines used in social housing are characterized, setting the stage work of this study. Then, using hand tools and computational structural design calculation of the prestressed prefabricated beams it is performed by applying design standards and codes accepted by Ecuadorian law.

The result obtained is a series of precast-prestressed beams, specifying its shape and dimensions. The process of manual assembly of beams in work also disclosed.

Finally, after comparing the proposal with respect to the traditional solution it is concluded that the slab-beam solution feasible to apply in social housing.

**Keywords:** solution of beam-slab, social housing, prestressed concrete, structural design, manual assembly.



## ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	3
ÍNDICE .....	4
CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR.....	7
CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL .....	8
DEDICATORIA.....	9
AGRADECIMIENTOS .....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Justificación.....	11
1.2 Objetivo General.....	11
1.3 Objetivos Específicos .....	11
1.4 Método de Investigación.....	12
1.5 Alcance y Contenido.....	12
1.6 Antecedentes.....	13
1.7 Conceptos Fundamentales.....	13
1.7.1 Solución Constructiva .....	14
1.7.2 Industrialización de la Construcción.....	14
1.7.3 Prefabricación en la Construcción .....	14
1.7.4 Hormigón Pretensado .....	15
1.7.5 La Vivienda Social .....	16
1.7.6 Solución Constructiva Vigüeta-Bovedilla.....	18
2. ELABORACIÓN DE MODELOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	20
2.1 Consideraciones Geométricas.....	20
2.2 Materiales.....	23
2.2.1 Hormigón .....	23
2.2.2 Acero de Preesfuerzo .....	24
2.3 Condiciones de Borde .....	26
2.4 Determinación de Cargas.....	26
2.4.1 Carga Muerta (D) .....	27
2.4.2 Carga Viva (L).....	28
2.4.3 Carga por Granizo (S).....	29
2.5 Combinaciones de Cargas .....	29



2.6	Resumen de Análisis de Cargas y Modelos de Análisis Estructural.....	30
3.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS .....	33
3.1	Consideraciones para realizar el Análisis Estructural en SAP 2000 V16	33
3.2	Análisis Estructural en SAP 2000 V16.....	33
3.3	Interpretación de Resultados del Análisis Estructural en SAP 2000 V16	38
3.4	Diseño en Hormigón Pretensado de las Vigas consideradas. ....	39
3.5	Resultados de Diseño Estructural .....	51
3.6	Análisis de Resultados de Diseño Estructural .....	55
4.	TRANSPORTE Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS PRETENSADOS EN OBRA .....	57
4.1	Peso de los elementos pretensados.....	57
4.2	Transporte de los elementos prefabricados-pretensados a obra .....	57
4.3	Personal Capacitado para el Montaje Manual de los elementos en obra.	59
4.4	Procedimiento recomendado para el Montaje de los Elementos Prefabricados-Pretensados en Obra. ....	60
5.	COMPARACIÓN ENTRE LA SOLUCIÓN DE VIGUETA-BOVEDILLA Y LA SOLUCIÓN TRADICIONAL.....	65
5.1	Ventajas de la Prefabricación en la Construcción .....	65
5.2	Ventajas de la Solución Constructiva Vigueta Bovedilla respecto a la Solución Tradicional .....	65
5.3	Desventajas de la Solución Constructiva de Vigueta Bovedilla respecto a la Solución Tradicional .....	66
5.4	Comparación técnica-económica entre la Solución Constructiva Vigueta Bovedilla respecto a la Solución Tradicional .....	66
	CONCLUSIONES.....	68
	RECOMENDACIONES .....	70
	REFERENCIAS.....	71
	ANEXOS .....	73
A1.-	Diseño de Vigas prefabricadas-pretensadas .....	73
A1.1.-	Viga de luz L igual a 2,40 m. ....	73
A1.2.-	Viga de luz L igual a 3,00 m. ....	82



A1.3.- Viga de luz L igual a 4,20 m. ....	91
A1.3.- Viga de luz L igual a 4,80 m. ....	101
A1.4.- Viga de luz L igual a 5,40 m. ....	110
A1.4.- Viga de luz L igual a 6,00 m. ....	120



## CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, Antonio Marcos Sacoto Toledo, autor de la tesis **“ELEMENTOS PREFABRICADOS-PRETENSADOS DE MONTAJE MANUAL PARA TECHOS Y ENTREPISOS DE LA VIVIENDA SOCIAL”**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Noviembre de 2016.

Antonio Marcos Sacoto Toledo  
C.I: 0301745279



## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

---

Yo, Antonio Marcos Sacoto Toledo, autor de la tesis **“ELEMENTOS PREFABRICADOS-  
PRETENSADOS DE MONTAJE MANUAL PARA TECHOS Y ENTREPISOS DE LA VIVIENDA SOCIAL”**,  
certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de  
exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Noviembre de 2016.

---

Antonio Marcos Sacoto Toledo  
C.I: 0301745279





## **DEDICATORIA**

A mis hermanos Paulo Ismael y Jesús Francisco, constante inspiración y motivación en mi vida.

A la memoria de mi tío y padrino, Raúl Sacoto González, ejemplo de vida que trato de seguir.

A la memoria de mis abuelitos Luis Toledo Calle y Humberto Sacoto Romero, que desde algún lugar me acompañan.

A mis abuelitas Martha Aguilar Romero y Obdulia González Vintimilla, que con su vida, amor, trabajo, cuidados y oraciones me han ayudado y acompañado durante mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, Jesús del Gran Poder, a la Virgen María, por la vida, salud, protección y prodigios recibidos.

A mis padres Nelson Antonio y Jacqueline de la Nube, es indescriptible el agradecimiento que siento por el amor, cuidados, formación, apoyo incondicional y todo lo recibido durante toda mi vida.

A Etelvina Morales Rodríguez, por la sinceridad expresada en el cariño, cuidados y apoyo, siempre sentidos y valorados.

A Ruthcita Cordero Ordoñez, por el cariño, enseñanzas, motivación, brindados durante mi etapa de estudiante universitario, por ayudarme a descubrir y valorar en los pequeños detalles, la riqueza y sentido de la vida.

Gratitud infinita al Ing. Nelson Navarro Campos, PhD., por su generosidad al dirigir el presente trabajo, por contribuir desinteresadamente en mi proceso de formación, brindándome su tiempo, experiencias y valiosos conocimientos.

A mi tía Martha Toledo Aguilar y tío Marcelo Rodas López, su incansable apoyo y cariño, han sido una constante motivación para seguir adelante.

A Marcelo León, Ángel Cango, Carlos Padilla, Jorge Sánchez, por su amistad, apoyo y ayuda recibida en esta etapa universitaria.

A todos los familiares y amigos, que de una u otra manera me han apoyado y ayudado en el transcurso de mi vida.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Justificación

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, oferta la Carrera de Ingeniería Civil, fundamentada en proveer soluciones técnicas inherentes a: infraestructura física pública y privada, vialidad y transporte, recursos hídricos, acordes con los conocimientos, tecnologías y recursos disponibles en la actualidad, por lo tanto es tarea del Ingeniero Civil, mejorar, implementar e innovar soluciones con la finalidad de elevar la calidad de vida de la población y aportar al desarrollo del país.

En la ciudad de Cuenca, la mayor parte de construcciones en edificaciones que incluyen entrepisos y techos de hormigón armado, se realizan usando soluciones constructivas tradicionales que utilizan: encofrados artesanales, dosificación, preparación y vertido del hormigón *in situ*, el uso de bloques de mampostería para alivianar losas; en varias ocasiones la calidad de esta solución constructiva se ve afectada por limitaciones económicas y técnicas.

Para mejorar la situación actual, es necesario implementar en nuestro medio el uso de tecnologías constructivas, que mejoren el control de calidad, optimicen recursos, disminuyan el tiempo de ejecución en obra, sean acordes a la realidad socio-económica de la población, y por ende factibles de aplicar.

El presente estudio, desarrolla parte de una solución estructural-constructiva para techos y entrepisos de la vivienda social, que comprende la prefabricación y estandarización de los principales elementos estructurales (vigas), el uso de la tecnología del hormigón pretensado, el uso de bovedillas para alivianar la losa, el montaje manual de los elementos y el hormigonado *in situ* de la carpeta de la losa.

La solución constructiva propuesta, es una alternativa capaz de producirse en grandes cantidades, aplicable a proyectos de construcción masiva como la Vivienda Social, que incluye procesos constructivos adaptables a un riguroso control de calidad, con una notable rapidez de ejecución en obra, por lo tanto contribuye al desarrollo y progreso de la construcción en la ciudad y país.

### 1.2 Objetivo General

Desarrollar parte de una solución técnica estructural-constructiva para techos y entrepisos, que resulte segura, viable de ejecutar, mediante el estudio analítico y el diseño estructural de vigas prefabricadas-pretensadas, especificando su forma y dimensiones, para mejorar y optimizar recursos en la construcción de la vivienda social.

### 1.3 Objetivos Específicos



1. Determinar las principales características de techos y entrepisos usados en la vivienda social mediante la revisión de bibliografía apropiada y proyectos de construcción de vivienda social ejecutados, para plantear el modelo de análisis de la solución propuesta.
2. Diseñar una serie de elementos prefabricados-pretensados (vigas) para techos y entrepisos de montaje manual, especificando su forma, dimensiones, en función de una solución constructiva que optimice recursos en la construcción de la vivienda social, aplicando conocimientos de diseño estructural y construcción.
3. Describir el montaje manual de elementos prefabricados pretensados en obra, mediante la revisión de bibliografía y consulta a expertos, para desarrollar el proceso de montaje de las vigas pretensadas diseñadas.
4. Comparar la solución propuesta y la solución tradicional, identificando las ventajas y desventajas de la solución propuesta respecto a la tradicional para determinar su factibilidad en la vivienda social.

#### **1.4 Método de Investigación**

Tomando como punto de partida la bibliografía e información existente, se plantea el escenario de trabajo, describiendo la solución constructiva a desarrollar que incorpora la tecnología del hormigón pretensado, también examinando los techos y entrepisos usados en proyectos de vivienda social en el Ecuador.

Posteriormente, mediante un estudio analítico, se realiza el diseño estructural de los elementos (vigas) prefabricados-pretensados propuestos, utilizando herramientas de cálculo, manuales y computacionales, aplicando códigos y normas de diseño como el ACI 318, PCI, la NEC-SE, reconocidos por la legislación ecuatoriana.

El resultado que se obtiene, es una serie de vigas prefabricadas-pretensadas, especificando su forma y dimensiones. Adicionalmente, se describe el procedimiento recomendado para el montaje manual en obra, de las vigas diseñadas.

Finalmente se realiza una comparación entre la solución propuesta y la solución tradicional, para determinar su factibilidad y posterior aplicación en proyectos de vivienda social.

#### **1.5 Alcance y Contenido**

El presente estudio, aborda parte de la solución estructural-constructiva para techos y entrepisos de Vivienda Social, conocida como vigueta-bovedilla, que emplea vigas o viguetas prefabricadas, bovedillas que pueden ser de diferentes materiales y una carpeta de hormigón armado.



El alcance del presente estudio, es realizar el diseño estructural y presentar una serie de vigas prefabricadas pretensadas, especificando su forma y dimensiones, para aplicar en la vivienda social, y de ser el caso en otras edificaciones.

## 1.6 Antecedentes

Estudios previos realizados en la Ciudad de Cuenca [1] [2], presentan en la construcción de edificaciones pequeñas la aplicación masiva de soluciones constructivas caracterizadas por el uso de la tecnología del hormigón armado construido *in situ*, empleando bloques idóneos para mampostería en el alivianamiento de losas, el uso de encofrados artesanales o metálicos, definiendo de esta manera a la “solución tradicional”, que en la mayoría de ocasiones, su calidad al verse afectada por limitaciones técnicas y/o económicas, termina dependiendo de la mano de obra no calificada.



Figura 1: Solución Constructiva Tradicional para Losas de Entrepiso o Cubierta que incluye el uso de encofrado artesanal de madera, bloques de mampostería para alivianar peso muerto en la losa. Fuente: Arq. Antonio Sacoto González.

El uso de tecnologías constructivas tendientes a la industrialización y prefabricación en la ciudad de Cuenca, como por ejemplo el hormigón pretensado, es escaso en la construcción de edificaciones, a diferencia de otros países en los que el uso de la prefabricación ha contribuido al progreso de los mismos.

En países en desarrollo como el Ecuador, con déficit de vivienda, la prefabricación es útil para atender de manera eficiente proyectos sociales habitacionales[3], de personas con recursos económicos limitados, de ahí la necesidad de incorporar en nuestro medio, soluciones constructivas ágiles de ejecutar en proyectos de construcción masiva como lo es la Vivienda Social, que garanticen la calidad constructiva de los elementos estructurales y no estructurales, y sean factibles de aplicar.

## 1.7 Conceptos Fundamentales

En esta sección, se empieza definiendo lo que es una solución constructiva, luego se habla de la prefabricación en la construcción, hasta llegar a describir la



tecnología del hormigón pretensado, para después de definir las características de los techos y entrepisos de la vivienda social, presentar la solución constructiva adoptada sobre la cual se desarrolla el diseño estructural de los elementos tratados en el presente estudio.

### **1.7.1 Solución Constructiva**

Una solución constructiva es el conjunto de: técnicas, metodologías, procesos, materiales, herramientas, equipos y maquinarias, empleada en el diseño y ejecución de una obra civil, presentando un comportamiento particular en función de la misma.

Las soluciones constructivas pueden ser de carácter: “artesanal, artesanales-industriales o totalmente industriales”[4].

En edificaciones pequeñas de la ciudad de Cuenca, las soluciones tradicionales son mayoritariamente artesanales con poco o nulo uso de soluciones prefabricadas-industrializadas.

### **1.7.2 Industrialización de la Construcción**

La industrialización es la organización y sistematización de un proceso productivo, insertando medios tecnológicos avanzados al proceso que integra el diseño, la producción, fabricación y la gestión siguiendo una lógica que combina conceptos de “racionalización, mecanización y automatización”(Ecuación de Blachére).

La construcción, a través de la prefabricación, debidamente planificada, ordenada, se convierte en un proceso industrial.

### **1.7.3 Prefabricación en la Construcción**

Se define como la fabricación industrial de elementos de la construcción fuera del lugar donde se ejecuta la obra, susceptibles de ser usados a través de técnicas de montaje.

Para optimizar el uso de recursos económicos y satisfacer las necesidades de la población, en la búsqueda de soluciones eficientes y económicas, la prefabricación mediante la modulación, normalización, estandarización y fabricación de los elementos de la construcción, se “ha constituido en un proceso industrial de alta productividad”[5], calidad y accesibilidad económica.

En Ecuador, la prefabricación en edificaciones es poco aplicada, por lo que todavía no se cuentan con normas detalladas y una gama de catálogos que incluyan dimensiones normalizadas y estandarizadas de los elementos, manuales de montaje en obra y mantenimiento durante la vida útil de los elementos, de tal manera que los profesionales de la construcción, conozcan y se interesen en adoptar soluciones prefabricadas en sus proyectos.

En la ciudad de Cuenca, existen empresas dedicadas a la prefabricación, sin embargo es necesario elaborar soluciones constructivas que puedan desarrollar





dichas empresas, para promover una cultura constructiva que use soluciones prefabricadas en la construcción de edificaciones, que incrementen el rigor técnico y por ende la calidad, sean de rápido montaje y viables económicamente.



Figura 2: Fábrica RFV Carrasco Construcciones, dedicada a la elaboración de elementos de hormigón pretensado.

#### 1.7.4 Hormigón Pretensado

El hormigón es un material artificial, que se obtiene al mezclar cuidadosamente cantidades predeterminadas de cemento portland, arena, grava, agua y opcionalmente algún aditivo. Se caracteriza por presentar una alta resistencia a la compresión, al mismo tiempo es un material frágil ya que presenta baja resistencia a la tracción, por lo que no puede actuar solo en elementos estructurales sometidos a tracción.

Inicialmente, se empezó a utilizar en elementos estructurales al acero como refuerzo del hormigón, para que luego de que éste alcance el esfuerzo de fisuración y comience el micro fisuramiento, sea el acero, material de alta resistencia a la tracción, el que absorba dichos esfuerzos.

“Estudios y experimentos posteriores desarrollaron hormigones y aceros de alta resistencia, que al ser combinados, dan lugar al hormigón preesforzado” [6], que a diferencia del hormigón armado, introduce una fuerza que comprime al elemento estructural y luego es equilibrada por las cargas que actúan en el elemento.

El hormigón preesforzado puede ser pretensado o postensado, el presente estudio aplica la tecnología del hormigón pretensado.

Para fabricar un elemento de hormigón pretensado inicialmente se tensa la armadura (cables de acero o torones, alambres), luego se vierte el hormigón, cuando éste alcanza una resistencia predefinida, se cortan los cables, produciendo una fuerza de compresión en el elemento, transmitida únicamente por adherencia.



Figura 3: Elaboración de una Losa TT en la Fábrica RFV Carrasco Construcciones, se observa los cables de pretensado tensados y el fraguado del hormigón.

Al diseñar un elemento de hormigón pretensado se deben considerar los siguientes parámetros:

- Pérdidas en el preesfuerzo que se producen por los materiales.
- Esfuerzos de flexión que generan momentos y cortantes, con ello se diseña por resistencia.
- Deflexiones, incluyendo las contraflechas y flechas, con ello se diseña por rigidez.

Los documentos técnicos, empleados al diseñar elementos de hormigón pretensado son proporcionados por el Comité ACI 318[7] y el Precast/Prestressed Concrete Institute[8], de gran aceptación en nuestro país, para respaldar la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

La fabricación de los elementos pretensados, se realiza en plantas industriales especializadas, por lo que el transporte e izado de los elementos de fábrica a obra, usualmente se hace usando camiones y grúas, en función de las dimensiones y peso de los elementos.

Entre las ventajas que presenta el hormigón pretensado respecto al hormigón armado usado en soluciones tradicionales, se encuentran:

- Mayor control de calidad de los materiales usados en la fabricación del elemento.
- Reducción del agrietamiento, corrosión del acero y deflexiones.
- Permitir el uso de luces de mayor longitud.
- Disminuir los peraltes y dimensiones de las secciones a utilizar, reduciendo el peso propio del elemento, resultando ser elementos más livianos.

Al ser una tecnología de prefabricación industrializada, resulta viable para proyectos de construcción masiva como Vivienda Social, que incluyen diseños estandarizados factibles de prefabricar y emplazar en obra en el menor tiempo posible.

### **1.7.5 Vivienda Social**





La necesidad de atender los requerimientos de la población al menor costo y tiempo posible, más aún cuando los recursos económicos de las personas son limitados, obliga a idear e implementar soluciones sustentables [9], de calidad, uso inmediato, con adecuada factibilidad técnica-económica.

El déficit habitacional por el crecimiento urbano y poblacional, según el Municipio de Cuenca en declaraciones para Diario “El Tiempo”, manifiesta que para Junio de 2015, bordea las 45000 viviendas, esta situación constituye uno de los principales retos para Cuenca, siendo necesario plantear programas de construcción masiva, que puedan ser emplazados en el menor tiempo posible, acordes a la realidad socio-económica de la población.

Se define a una vivienda como el espacio funcional, de calidad, ligado a criterios de sostenibilidad, flexibilidad, ideado por el hombre para desarrollar sus actividades personales cotidianas en compañía de su familia, como son:

- Descanso
- Alimentación
- Aseo
- Procreación
- Estudio
- Trabajo
- Diversión

De ahí la importancia de dotar a la población de un espacio cómodo, seguro, agradable, que genere armonía en los ocupantes, y por ende contribuya en mejorar su salud mental y física.

Las limitaciones económicas de grandes sectores de la población, hace que ésta no pueda adquirir un terreno, materiales de construcción o contratar mano de obra [10] y por lo tanto no puedan tener vivienda propia o si la tienen no pueden dar un buen mantenimiento [11], siendo inminente la necesidad de acogerse a programas habitacionales estatales o de organizaciones benéficas que ofrezcan subsidios.

La Vivienda Social, se define como la edificación funcional, de calidad, flexible, económica, socialmente efectiva[9] [11], amigable con el medio ambiente que forma parte de un programa habitacional de construcción estatal o privado, dirigido a los sectores de la población con recursos económicos limitados.

Para cumplir dicho objetivo, los programas habitacionales deben optimizar el uso de recursos técnicos y económicos en la construcción, empleando soluciones constructivas eficaces y eficientes que incluyan en los diseños: la modulación, estandarización, prefabricación de los elementos estructurales y no estructurales y por lo tanto tiendan a industrializar la construcción, para reducir el tiempo de ejecución de los proyectos.

En nuestro país y ciudad, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y la Empresa Municipal de Urbanización y Vivienda de Cuenca (EMUVI), son las



la instituciones públicas dedicadas al estudio y solución de los déficits habitacionales de la población, considerando su situación socioeconómica, por ello, desarrollan programas de Vivienda Social como el “Conjunto Habitacional Divino Niño”, desarrollado por el MIDUVI, emplazado en el suroriente de la ciudad de Quito o el “Conjunto Habitacional Vista al Río”, desarrollado por la EMUVI, emplazado en la ciudad de Cuenca, junto al Hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.



Figura 4: Conjunto Habitacional Divino Niño. Fuente: Distribución El Ciudadano.



Figura 5: Conjunto Habitacional Vista al Río. Fuente: Telecuenca TV.

Si se toma como referencia los programas de vivienda social antes mencionados, se observa el empleo de losas planas de hormigón armado en los entrepisos y techos, por lo tanto en el presente estudio se asume que en los entrepisos y techos de la Vivienda Social se usan losas planas, en este caso, se orienta al diseño y construcción hacia la aplicación de la solución vigueta-bovedilla.

#### **1.7.6 Solución Constructiva Vigueta-Bovedilla**

La solución constructiva vigueta-bovedilla, aplicable a entrepisos y techos, se caracteriza por el empleo de losas unidireccionales, formadas por vigas prefabricadas que pueden ser de diferentes materiales: hormigón armado, hormigón pretensado, acero y bovedillas de diferentes materiales como: mortero, cerámica o poliestireno (EPS). En este estudio se considera el uso de vigas de hormigón pretensado.



Ésta solución constructiva, reduce el uso de encofrados, disminuye trabajos y tiempo en obra, disminuye desperdicios, se constituye en una solución tendiente a la industrialización de la construcción, aplicable a proyectos de construcción masiva como la Vivienda Social.



Figura 6: Bovedilla de Mortero, producida industrialmente, y montaje en las viguetas. Fuente: Ing. Nelson Navarro, Ph.D.



Figura 7: Exposición de diferentes soluciones de Bovedillas sobre semi viguetas de hormigón armado, CTVU, Cuba. Fuente: Ing. Nelson Navarro, Ph.D.



Figura 8: Solución Constructiva Vigueta-Bovedilla emplazada en obra. Se usan vigas de hormigón armado y las bovedillas de suelo-cemento. Fuente: Ing. Nelson Navarro, Ph.D.



## 2. ELABORACIÓN DE MODELOS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En el desarrollo de un proyecto de construcción de una edificación, convergen varias disciplinas de la Ingeniería y Arquitectura, siendo importante en todo momento, mantener una comunicación fluida entre los diferentes profesionales que intervienen en las etapas del proyecto como son: estudios, diseño, construcción, mantenimiento y desuso de la edificación.

El presente estudio, enfocado en ser una herramienta de uso directo para el diseño arquitectónico y estructural-constructivo, se encuentra íntimamente relacionado con la Ingeniería Estructural, por lo que se da el tratamiento necesario conducente al diseño estructural de las vigas prefabricadas-pretensadas para la solución vigueta-bovedilla aplicada a vivienda social.

Este capítulo se dedica a construir el modelo de análisis estructural que luego será usado para realizar el análisis y diseño estructural de las vigas prefabricadas pretensadas.

El modelo de análisis estructural, debe contener los siguientes aspectos:

- Consideraciones Geométricas, es decir considerar la forma y dimensiones de los miembros estructurales.
- Materiales que se van a utilizar para construir los miembros estructurales.
- Condiciones de borde, que modelen y representen las conexiones que hay entre los miembros de la estructura.
- Cargas que actúan en el miembro estructural a diseñar.

### 2.1 Consideraciones Geométricas

Sobre las vigas a diseñar, se colocarán bovedillas prefabricadas de mortero, cerámica o poliestireno expandido (EPS) y una carpeta de hormigón armado sobre las bovedillas, del orden de 5,00 cm de espesor. La sección transversal de losa de entrepiso o techo, aplicando la solución constructiva vigueta-bovedilla, se ilustra en la siguiente figura:

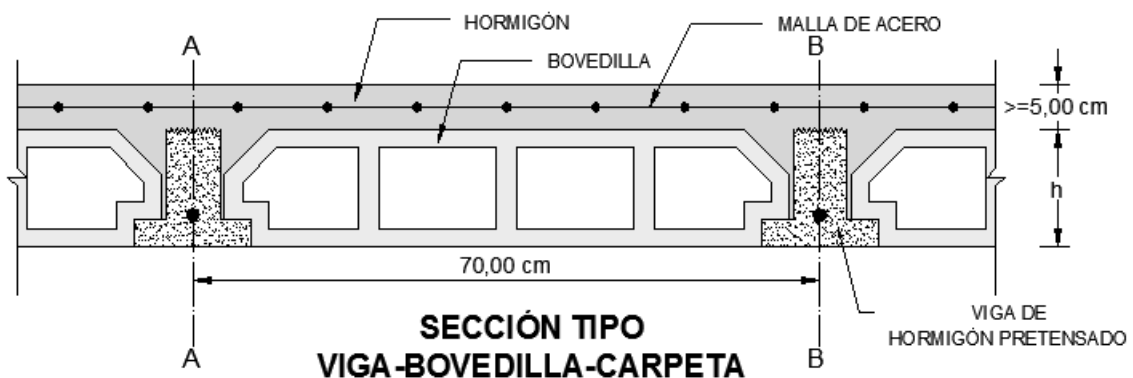


Figura 9: Sección Tipo Viga-Bovedilla-Carpeta.



Las vigas de hormigón pretensado a diseñar, inicialmente tienen forma de T invertida (viguetas) y trabajan de manera individual, posteriormente junto a la carpeta de hormigón armado, trabajan como sección T compuesta. A continuación se muestran las dimensiones de las viguetas consideradas inicialmente y la sección T compuesta:

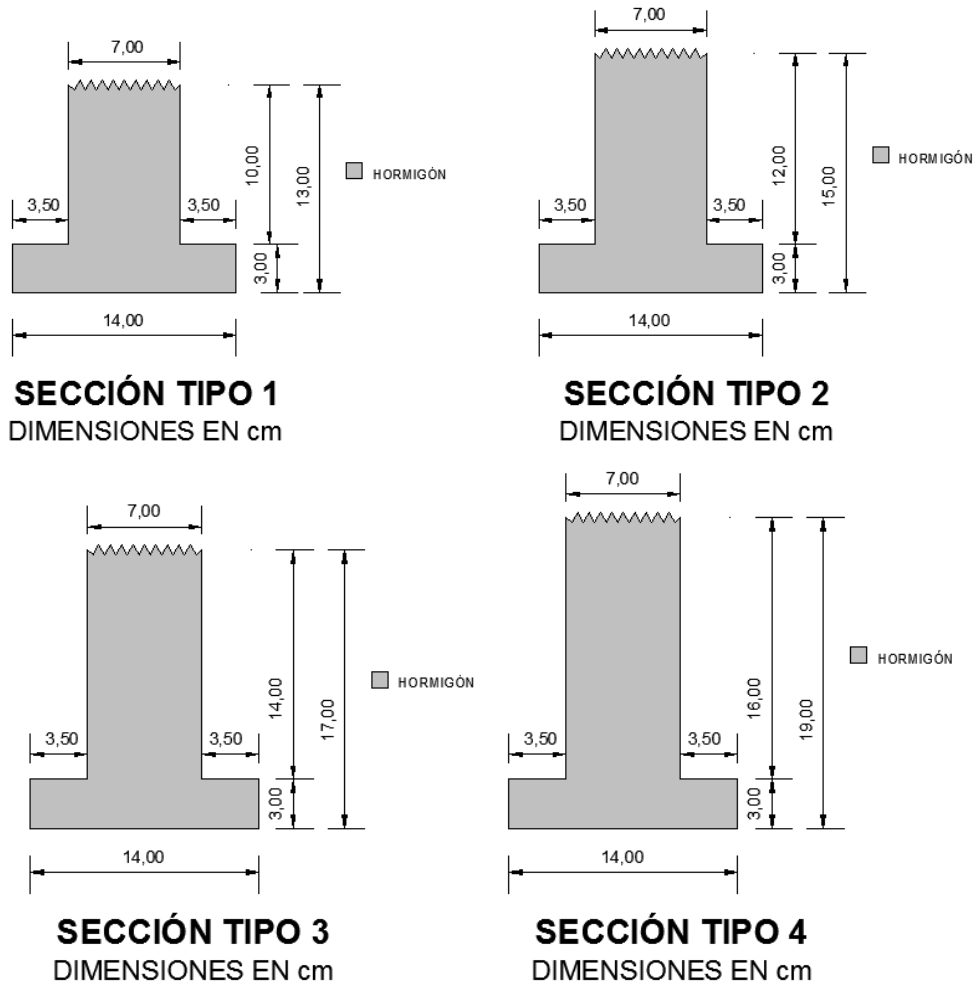


Figura 10: Secciones Transversales T invertida. Dimensiones en cm.

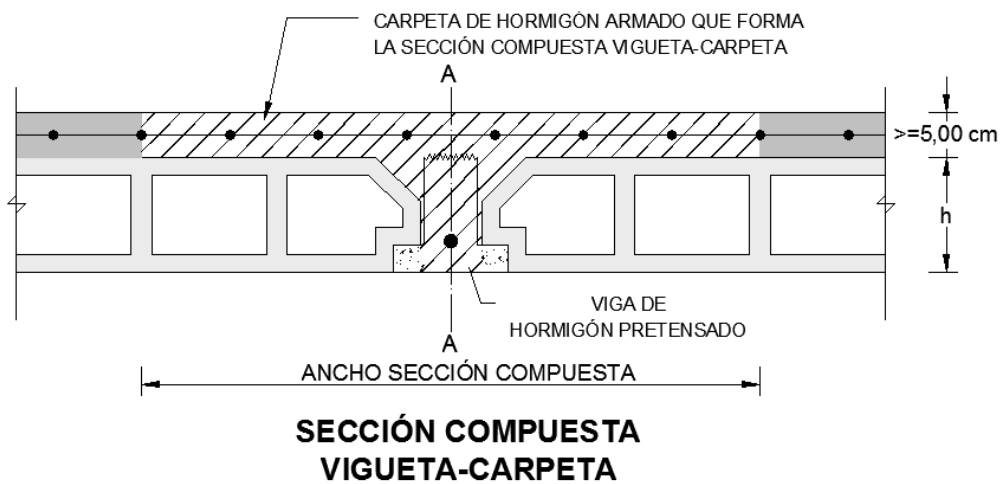


Figura 11: Viga de Sección Compuesta forma de T.





Las luces consideradas para diseñar las vigas, son:

Luz m
2,40
3,00
3,60
4,20
4,80
5,40
6,00

Tabla 1: Luces consideradas para diseñar las vigas.

En base a lo revisado en catálogos de bovedillas, se presentan las secciones transversales de las bovedillas tipo, que se consideran en el presente estudio:

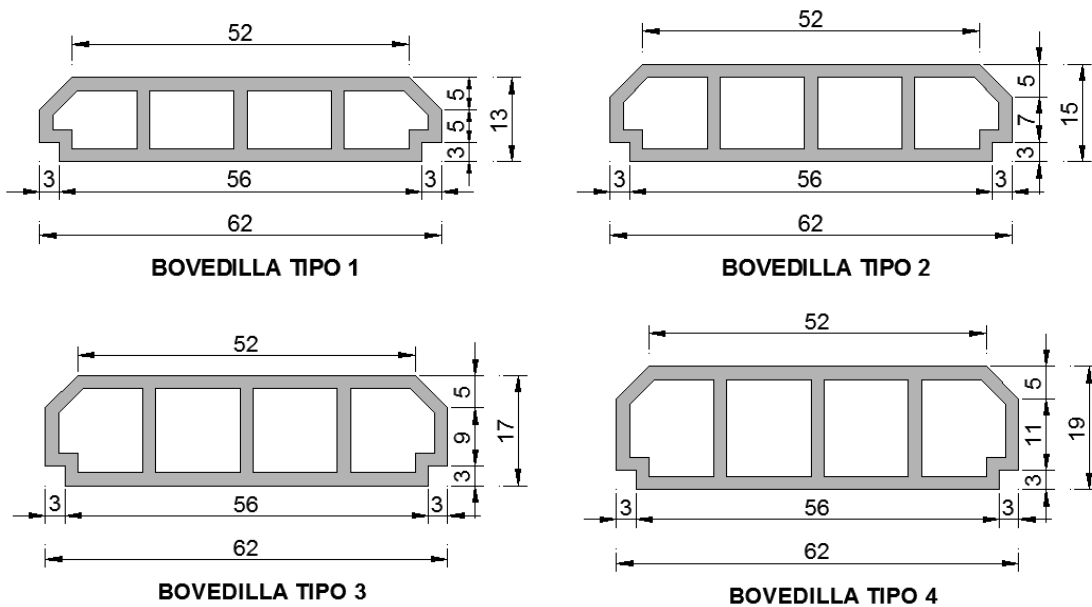


Figura 12: Tipos de Bovedilla. Dimensiones en cm. Profundidad: depende del material. Adaptado de: Grupo PROCEPÁN / Grupo Bari.



Figura 13: Solución Vigueta-Bovedilla emplazada en obra, previo a colar la carpeta de hormigón armado. Fuente: Ing. Nelson Navarro. Ph.D.



## 2.2 Materiales

El hormigón pretensado, está formado por hormigón y acero. En ésta sección se describen las principales propiedades de dichos materiales.

### 2.2.1 Hormigón

La resistencia a compresión del hormigón  $f'_c$  para elementos preesforzados se toma a partir de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a la tracción del hormigón, como se conoce es bastante baja, está alrededor del 10% respecto a la resistencia a la compresión, el código ACI 318[7], obtiene esta propiedad mediante la siguiente ecuación:

$$f_r = 2\lambda \sqrt{f'_c} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (2.2.1)$$

Donde:

$f_r$  = Resistencia a la tracción del Hormigón.

$\lambda$  = Factor que considera el peso del Hormigón.

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del Hormigón.

El hormigón, se asumirá de peso normal por lo que  $\lambda = 1$ .

El módulo de elasticidad del hormigón, según el código ACI 318, se halla usando la siguiente ecuación:

$$E_c = w_c^{1,5} 0,14 \sqrt{f'_c} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (2.2.2)$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de Elasticidad del Hormigón.

$w_c$  = Densidad asumida para el hormigón entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup>

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del Hormigón.

Sin embargo, para hormigones de peso normal el código especifica:

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad (2.2.3)$$

La resistencia a cortante del hormigón, es una propiedad aún en estudio, por lo que es necesario emplear lo dispuesto en el código ACI 318[7], que es conservador en cuanto a su resistencia.

En el hormigón pretensado es muy importante considerar las pérdidas de la fuerza de preesfuerzo, relacionadas directamente con el hormigón y el acero de preesfuerzo, debido a factores como el tiempo, el clima, la geometría del elemento, entre otros. Las pérdidas que se producen en el hormigón son:



**Pérdidas de Esfuerzo de Preesfuerzo debidas al Hormigón**

<i>Material</i>	<i>Instantáneas</i>	<i>Diferidas con el tiempo</i>
Hormigón	Deformación Elástica	Retracción y Fraguado
		Fluencia Plástica

Tabla 2: Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo debidas al Hormigón.

La deformación elástica del hormigón se refiere a un acortamiento del mismo, al momento de cortar los cables de pretensado, ya que la fuerza de pretensado transmitida por los cables comprime al hormigón.

La retracción y fraguado del hormigón depende principalmente de las condiciones de humedad y tiempo, generándose cambios de tipo químico especialmente durante el endurecimiento del hormigón.

La fluencia plástica es la deformación en el tiempo que sufre el hormigón, por la presencia de un esfuerzo permanente.

### 2.2.2 Acero de Preesfuerzo

El hormigón pretensado usa acero de preesfuerzo (armadura activa) y eventualmente acero de refuerzo normal o corrugado (armadura pasiva). Esta sección se enfoca en tratar el acero de preesfuerzo, dado que el acero de refuerzo es ampliamente conocido en nuestro medio y se usa eventualmente en el hormigón pretensado.

El acero de preesfuerzo es un acero más resistente que el acero de refuerzo. El motivo de utilizar aceros de mayor resistencia, radica en la necesidad de mantener la fuerza de preesfuerzo frente a las deformaciones que sufre el hormigón y también frente al paso del tiempo que sumado a otros factores genera pérdidas en los materiales[12], por ello se necesita que el acero de preesfuerzo tenga una mayor elongación respecto al acero de refuerzo, hecho que se observa en la siguiente figura:



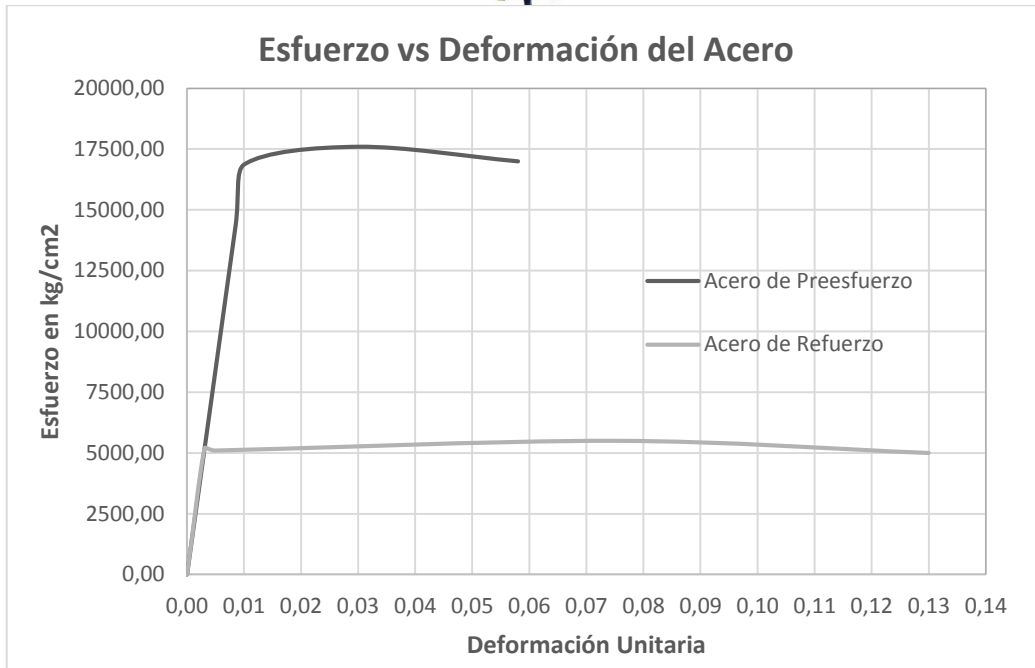


Figura 14: Gráfica Esfuerzo vs. Deformación del Acero. Adaptado de: [12]

En la figura anterior, se observa que el acero de preesfuerzo presenta mayor resistencia última, mayor límite elástico, menor ductilidad respecto al acero de refuerzo.

El acero de preesfuerzo, al presentar un alto límite elástico, es más susceptible a la corrosión respecto a los aceros normales, por ello es necesario recubrirlo adecuadamente.

El módulo de elasticidad del acero  $E_p$  depende del proceso de fabricación, varía entre 1950000 kg/cm<sup>2</sup> y 2050000 kg/cm<sup>2</sup>, para realizar cálculos puede tomarse como  $E_p=2000000$  kg/cm<sup>2</sup>. [12]

Para elementos pretensados pequeños como los tratados en este estudio, se usa alambre de acero para preesfuerzo que cumple la normativa ASTM A421.

A continuación se presentan las propiedades de algunos alambres, usados para el preesfuerzo que cumplen la normativa ASTM A421:

<b>Alambres de acero para Preesfuerzo</b>			
<i>Diámetro</i> mm	<i>Área</i> cm <sup>2</sup>	<i>f<sub>py</sub></i> kg/cm <sup>2</sup>	<i>f<sub>pu</sub></i> kg/cm <sup>2</sup>
4,98	0,195	14338,06	16870,72
6,35	0,317	14338,84	16868,11
7,01	0,386	14041,83	16518,58

Tabla 3: Alambres de acero para preesfuerzo. Fuente: EMCOCABLES.

Las pérdidas en la fuerza de preesfuerzo que deben ser consideradas en el acero, dependen del tiempo y otros factores, pueden clasificarse de la siguiente manera:



**Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo debidas al Acero**

<i>Material</i>	<i>Instantáneas</i>	<i>Diferidas con el tiempo</i>
Acero	Corrimiento y Ajuste de cuñas de anclaje	Relajación

Tabla 4: Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo debidas al Acero.

La pérdida por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje se produce al momento de transferir la fuerza de preesfuerzo de los gatos hidráulicos a los anclajes, por lo que ocurre un deslizamiento leve de los anclajes.

La relajación del acero se debe a la deformación permanente a la que está sometido el acero, lo cual produce una pérdida en el esfuerzo de pretensado.

**2.3 Condiciones de Borde**

Se considerará, que las vigas pretensadas se apoyan sobre pórticos o muros, trabajando como vigas simplemente apoyadas. Además se modelará la posibilidad de que los extremos de la viga trabajen una determinada distancia como voladizo.

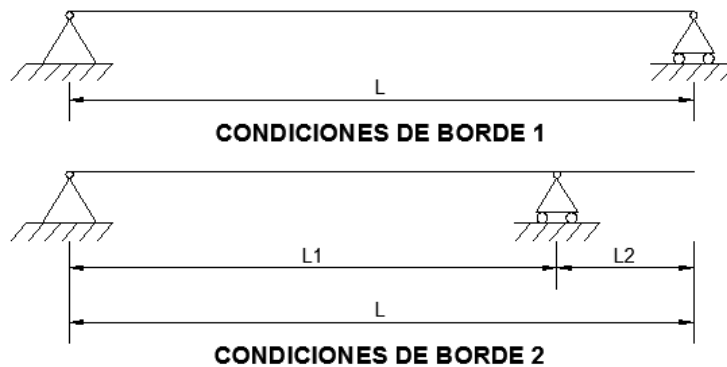


Figura 15: Condiciones de Borde.

**2.4 Determinación de Cargas**

Se define a una carga como la fuerza o conjunto de fuerzas que actúan sobre una estructura, pueden tener diversas orientaciones: verticales, horizontales, con una cierta inclinación, entre otras.

La determinación de la magnitud de cada una de las cargas que actúan sobre un determinado miembro de la estructura, es una de las tareas más delicadas del diseño estructural por cuanto la sobrestimación es tan perjudicial como la subestimación, ya que en el primer caso representa un desperdicio de recursos, mientras que en el otro caso se atenta a la seguridad que la estructura ofrece a los usuarios.



La estimación de la magnitud de las cargas depende de varios parámetros que consideran la función de cada miembro en la estructura, la naturaleza de las cargas actuantes, entendiendo a ello como el peso de los objetos o personas que actúan en la estructura y su disposición, también es muy importante el uso de las normas vigentes en el lugar donde se emplazará la estructura, en ésta sección se considera la NEC-SE-CG[13].

Luego de determinar la magnitud de las cargas, se procede a realizar la combinación de cargas, considerando la probabilidad de ocurrencia y combinaciones posibles, con la finalidad de adoptar un caso desfavorable de diseño, que a su vez sea lo más cercano a la realidad, guardando un margen de seguridad. Para realizar esta tarea, se emplean normativas como la NEC-SE-CG [13], el ACI 318[7]. Es necesario mencionar, que de acuerdo a la función del miembro estructural a diseñar, algunas combinaciones de carga no son posibles de aplicar, por lo que es muy importante el criterio del diseñador.

El mecanismo de transmisión de cargas en un entrepiso o techo es el siguiente: las cargas vivas debidas a personas, animales u objetos, que actúan en el entrepiso o techo, son resistidas inicialmente por la carpeta de hormigón armado y las vigas que soportan a dicha carpeta, luego la carga viva sumada al peso propio de la carpeta, vigas y bovedillas (carga muerta), son resistidas por los pórticos o muros opuestos en los que se apoyan las vigas que además deben resistir las cargas de viento y sismo, luego estas cargas se transmiten a la cimentación, para finalmente ser resistidas por el suelo.

Se aclara, que las vigas resisten cargas muertas y vivas, puesto que los pórticos o muros en los que se apoyan, son los que deben resistir a más de las vigas, las cargas de viento y sismo. A continuación se determina la magnitud de cada una de las cargas actuantes en las vigas a diseñar.

#### 2.4.1 Carga Muerta (D)

La carga muerta se define como la carga de magnitud constante que actúa en una estructura, incluye el peso propio de la estructura y cualquier otra carga que vaya a estar presente de forma permanente en la estructura, como por ejemplo: paredes, pisos, instalaciones, muebles, entre otras.

El peso propio usualmente es la carga muerta de mayor dimensión que actúa en la estructura, por lo que se obtiene a partir de las propiedades geométricas del miembro a diseñar y la densidad de los materiales del cual se van a construir.

<b>Densidades Materiales</b>		
<i>Material</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Hormigón Armado	2400	kg/m <sup>3</sup>
Cerámica	1020	kg/m <sup>3</sup>
Mortero	1200	kg/m <sup>3</sup>
Poliestireno	11	kg/m <sup>3</sup>

Tabla 5: Densidad de Materiales. Fuente: [13].



**Peso de Secciones  
Transversales Tipo kg/m**

<i>Sección Transversal Tipo</i>	<i>Peso Propio kg/m</i>
Tipo T1	26,88
Tipo T2	30,24
Tipo T3	31,92
Tipo T4	36,96

Tabla 6: Peso Secciones Transversales Tipo para Vigas.

**Peso de las Bovedillas kg/m**

<i>Tipo de Bovedilla</i>	<i>Cerámica</i>	<i>Mortero</i>	<i>Poliestireno</i>
1	37,50	40,88	0,90
2	38,42	44,11	0,95
3	39,33	56,00	1,00
4	43,75	86,24	1,30

Tabla 7: Peso de los Tipos de Bovedilla en kg/m. Fuente: Grupo PROCEPÁN / Grupo Bari.

Se considerará una carga adicional muerta por tabiquería divisoria, pisos, instalaciones, recubrimientos igual a 100 kg/m<sup>2</sup> adoptada en base a las densidades de los materiales dados en la NEC-SE-CG[13].

Para un ancho tributario, es decir el ancho del área que carga cada viga, igual a 70,00 cm, se tiene:

<b>Cargas Muertas (D)</b>		
<i>Material</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Carpeta de Hormigón Armado de 5,00 cm de espesor	84,00	kg/m
Carga Adicional: Tabiquería divisoria, Pisos, Instalaciones, Muebles.	70,00	kg/m

Tabla 8: Valores de carga muerta en kg/m, exceptuando el peso propio de las vigas.

### 2.4.2 Carga Viva (L)

La carga viva se define como la carga que varía en magnitud y posición, como son personas, animales y objetos que están en movimiento mientras ocupan la estructura o están durante un corto período de tiempo en la misma.

Para el presente estudio, dirigido a la Vivienda Social, se asume de la NEC-SE-CG[13] como carga viva, el valor dado en la Tabla 9 del Apartado 4.2.1, para Residencias, en el caso de Viviendas (unifamiliares y bifamiliares) el valor de



2,00 kN/m<sup>2</sup>(200 kg/m<sup>2</sup>), con lo que considerando un ancho tributario igual a 70,00 cm, se tiene:

<b>Carga Viva (L)</b>	
kg/m <sup>2</sup>	kg/m
200	140

Tabla 9: Carga viva por metro cuadrado de Losa y por metro lineal de Losa. Fuente: [13].

### 2.4.3 Carga por Granizo (S)

Según la definición dada en la sección anterior, la carga de granizo es también una carga viva. Se considera, la potencial presencia de granizo, por cuanto la solución planteada se orienta a ser usada como entrepiso o techo.

Tomando la fórmula del apartado 3.2.5 de la NEC-SE-CG[13], considerando una altura de acumulación de granizo igual a 2,00 cm, considerando un ancho tributario igual a 70,00 cm, se tiene:

<b>Carga Granizo (S)</b>	
kg/m <sup>2</sup>	kg/m
20	14

Tabla 10: Carga por granizo. Fuente: [13].

## 2.5 Combinaciones de Cargas

Las combinaciones de cargas, consideran la probabilidad de ocurrencia de casos desfavorables, que se presenten durante la vida útil de la estructura.

En el caso del hormigón pretensado, como se mencionó en la sección 1.7, debe ser diseñado para resistencia última, es por ello que se emplea el Método LRFD, el cual aplica coeficientes de mayoración de cargas y reducción de resistencia, determinados a través de un estudio estadístico realizado por los profesionales dedicados a la elaboración de las normas. Las normativas ACI-318[7] y NEC-SE-CG[13], emplean dicho método.

Las cargas presentes en este estudio, son cargas muertas y cargas vivas, por lo tanto se debe escoger la combinación que contenga dichas cargas, para ello nos referimos a las normativas antes citadas, tomando inicialmente:

$$U = 1.4D$$

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$$

Donde:

$U$  =Resistencia requerida

$D$  =Carga muerta

$L$  =Carga viva



$L_r$  =Sobrecarga reducida de cubierta en proyección horizontal

$S$  =Carga por nieve o granizo.

$R$  =Carga por lluvia

$W$  =Carga por viento

De las combinaciones antes presentadas, se elige como combinación de carga a utilizar:

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

Como no se consideran las cargas  $L_r$  y  $R$ , porque según la NEC-SE-CG[13] para lugares en los cuales la cota supera los 1000 metros sobre nivel del mar, no se permite reducir la reducción de carga viva en cubiertas  $L_r$ , en tanto que para la carga  $R$ , la norma no presenta un procedimiento de claro de cálculo, por ello finalmente la combinación de cargas a utilizar es:

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5S$$

## 2.6 Resumen de Análisis de Cargas y Modelos de Análisis Estructural

A continuación, se presenta en la siguiente tabla, los tipos de secciones y bovedillas que se adopta para cada longitud de viga, además se muestra los valores de las cargas consideradas:

### Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedilla de Mortero

Luz m	Tipo de Sección Transversal y Bovedilla		Cargas sin Mayorar					Carga Mayorada kg/m
	Sección Transversal	Bovedilla	Peso Propio kg/m	Bovedilla + Carga Muerta Adicional kg/m	Carpeta H.A. kg/m	Carga Viva kg/m	Carga Granizo kg/m	
2,40	Tipo T1	Tipo 1	26,88	110,88	84,00	140,00	14,00	497,11
3,00	Tipo T1	Tipo 1	26,88	110,88	84,00	140,00	14,00	497,11
3,60	Tipo T2	Tipo 2	30,24	126,00	84,00	140,00	14,00	519,29
4,20	Tipo T2	Tipo 2	30,24	126,00	84,00	140,00	14,00	519,29
4,80	Tipo T3	Tipo 2	31,92	126,00	84,00	140,00	14,00	521,30
5,40	Tipo T4	Tipo 3	36,96	156,24	84,00	140,00	14,00	563,64
6,00	Tipo T4	Tipo 3	36,96	156,24	84,00	140,00	14,00	563,64

Tabla 11: Tabla de Resumen de Selección de Dimensiones y Análisis de Cargas para Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedillas de Mortero.



**Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedilla de Cerámica**

<b>Luz m</b>	<b>Tipo de Sección Transversal y Bovedilla</b>		<b>Cargas sin Mayorar</b>					<b>Carga Mayorada kg/m</b>
	<i>Sección Transversal</i>	<i>Bovedilla</i>	<i>Peso Propio kg/m</i>	<i>Bovedilla + Carga Muerta Adicional kg/m</i>	<i>Carpeta H.A. kg/m</i>	<i>Carga Viva kg/m</i>	<i>Carga Granizo kg/m</i>	
2,40	Tipo T1	Tipo 1	26,88	107,50	84,00	140,00	14,00	493,06
3,00	Tipo T1	Tipo 1	26,88	107,50	84,00	140,00	14,00	493,06
3,60	Tipo T2	Tipo 2	30,24	109,33	84,00	140,00	14,00	499,28
4,20	Tipo T2	Tipo 2	30,24	109,33	84,00	140,00	14,00	499,28
4,80	Tipo T3	Tipo 2	31,92	109,33	84,00	140,00	14,00	501,30
5,40	Tipo T4	Tipo 3	36,96	113,75	84,00	140,00	14,00	512,65
6,00	Tipo T4	Tipo 3	36,96	113,75	84,00	140,00	14,00	512,65

Tabla 12: Tabla de Resumen de Selección de Dimensiones y Análisis de Cargas para Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedillas de Cerámica.

**Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedilla de Poliestireno**

<b>Luz m</b>	<b>Tipo de Sección Transversal y Bovedilla</b>		<b>Cargas sin Mayorar</b>					<b>Carga Mayorada kg/m</b>
	<i>Sección Transversal</i>	<i>Bovedilla</i>	<i>Peso Propio kg/m</i>	<i>Bovedilla + Carga Muerta Adicional kg/m</i>	<i>Carpeta H.A. kg/m</i>	<i>Carga Viva kg/m</i>	<i>Carga Granizo kg/m</i>	
2,40	Tipo T1	Tipo 1	26,88	70,90	84,00	142,80	14,00	453,62
3,00	Tipo T1	Tipo 1	26,88	70,90	84,00	142,80	14,00	453,62
3,60	Tipo T2	Tipo 2	30,24	71,00	84,00	142,80	14,00	457,77
4,20	Tipo T2	Tipo 2	30,24	71,00	84,00	142,80	14,00	457,77
4,80	Tipo T3	Tipo 2	31,92	71,00	84,00	142,80	14,00	459,78
5,40	Tipo T4	Tipo 3	36,96	71,30	84,00	142,80	14,00	466,19
6,00	Tipo T4	Tipo 3	36,96	71,30	84,00	142,80	14,00	466,19

Tabla 13: Tabla de Resumen de Selección de Dimensiones y Análisis de Cargas para Viga de Hormigón Pretensado considerando utilizar Bovedillas de Poliestireno.

A continuación, se muestran los modelos de Análisis Estructural:

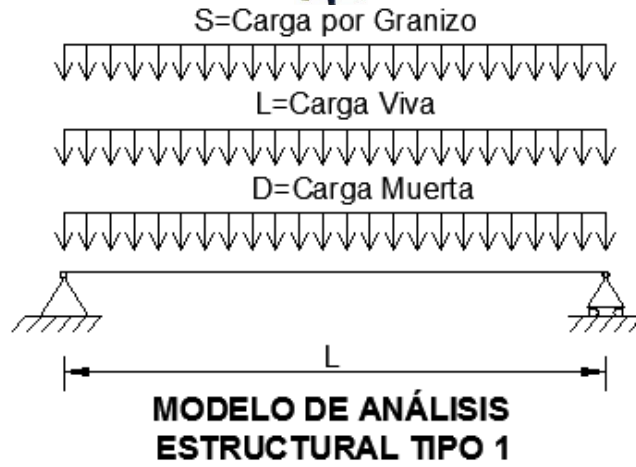


Figura 16: Modelo de Análisis Estructural Tipo 1

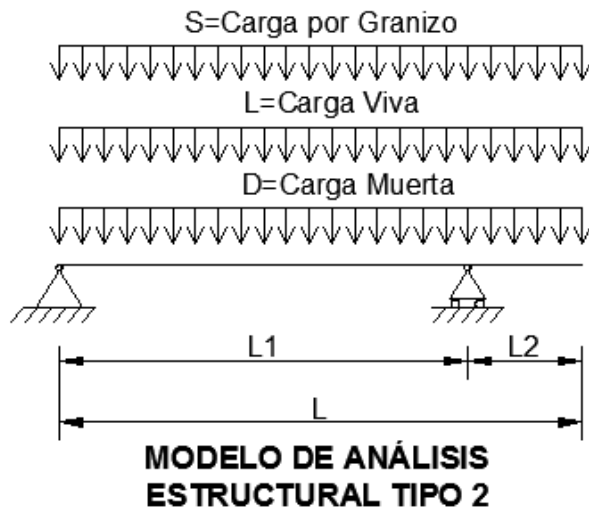


Figura 17: Modelo de Análisis Estructural Tipo 2





### 3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE LOS ELEMENTOS

Los modelos de análisis estructural corresponden a estructuras isostáticas simples, por lo que se pueden obtener, manualmente, los gráficos de momento y cortante, sin embargo, por agilidad de cálculo y presentación estética, se usa el software SAP 2000 V16 para realizar el Análisis Estructural.

Luego de realizar el Análisis Estructural de cada una de las vigas, se procederá a realizar el diseño en hormigón pretensado.

#### 3.1 Consideraciones para realizar el Análisis Estructural en SAP 2000 V16

Los modelos de análisis planteados en el capítulo anterior, según las condiciones de borde corresponden a elementos isostáticos, por lo que para obtener los Diagramas de Momento  $M$  y Cortante  $V$ , no hace falta conocer el módulo de elasticidad del material  $E_c$  ni la inercia de la sección de la viga  $I_c$ .

Sin embargo el Software SAP 2000 V16, requiere que se defina las dos propiedades antes mencionadas, por ello se asumirá una resistencia final del hormigón  $f'_c$  igual a  $350 \text{ kg/cm}^2$  o  $400 \text{ kg/cm}^2$  con lo que se tiene un módulo de elasticidad  $E_c=282495,13 \text{ kg/cm}^2$  o  $E_c=302000 \text{ kg/cm}^2$  y la Inercia vendrá dada según el tipo de sección correspondiente a cada forma y a la luz de cada viga.

Para analizar cada viga, según su longitud, se aplicarán los dos tipos de modelos planteados presentados en la figura 17, usando las secciones y cargas dadas en la Tabla 11, que corresponde al caso más desfavorable.

Los resultados, que devuelve el software SAP 2000, son las Fuerzas Interiores: Fuerzas Axiales, Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes. Además, da resultados correspondientes a los desplazamientos, en este caso flechas de las vigas consideradas, sin embargo, los valores de flechas no se adoptarán de SAP 2000 V16, porque se analizarán detalladamente aplicando lo dispuesto en el PCI [8].

#### 3.2 Análisis Estructural en SAP 2000 V16

Para este caso, los resultados de interés son los Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes, puesto que según la disposición de las cargas consideradas, no existen fuerzas axiales externas, en tanto, que las deformaciones se analizarán de una manera especial al momento de realizar el diseño de las vigas en hormigón pretensado.

Se elige para el análisis, los valores de cargas dados por la Tabla 11, dado que es el caso más desfavorable.

- $L=2,40 \text{ m}$

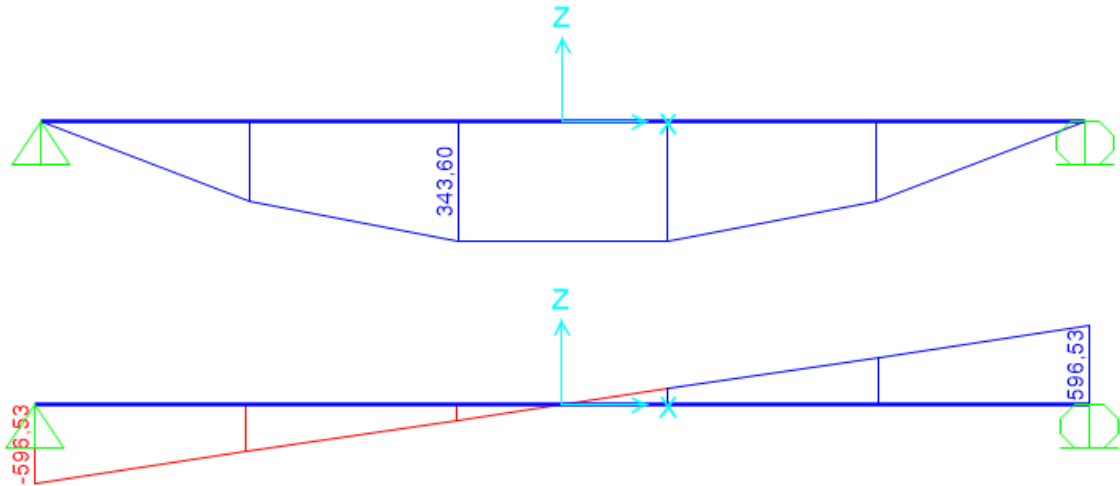


Figura 18: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=2,40 m.

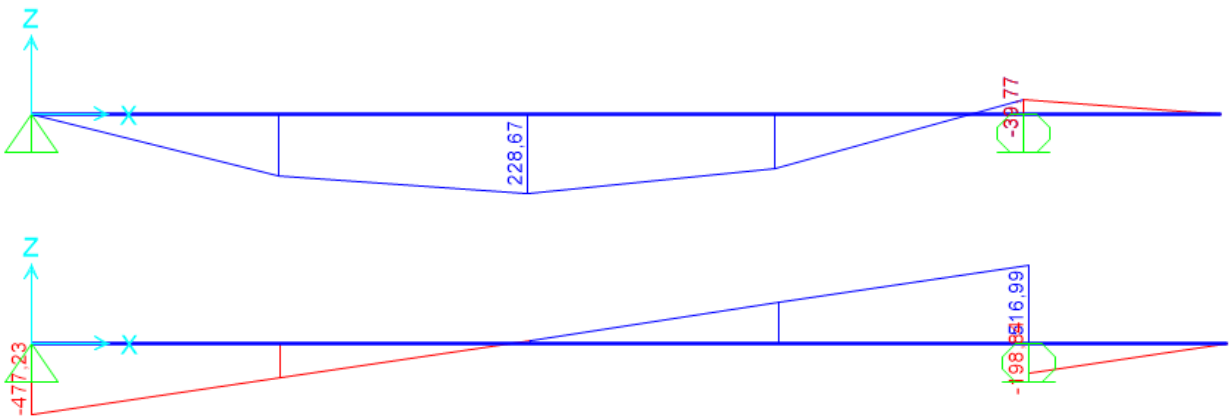


Figura 19: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 0,40 m en un extremo. Luz=2,40 m.

- L=3,00 m

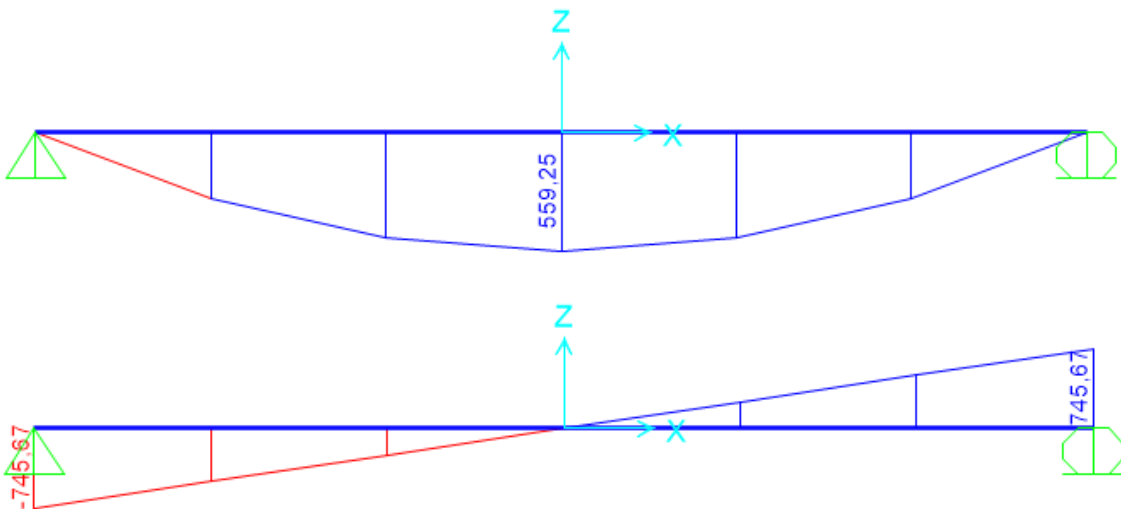


Figura 20: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=3,00 m.

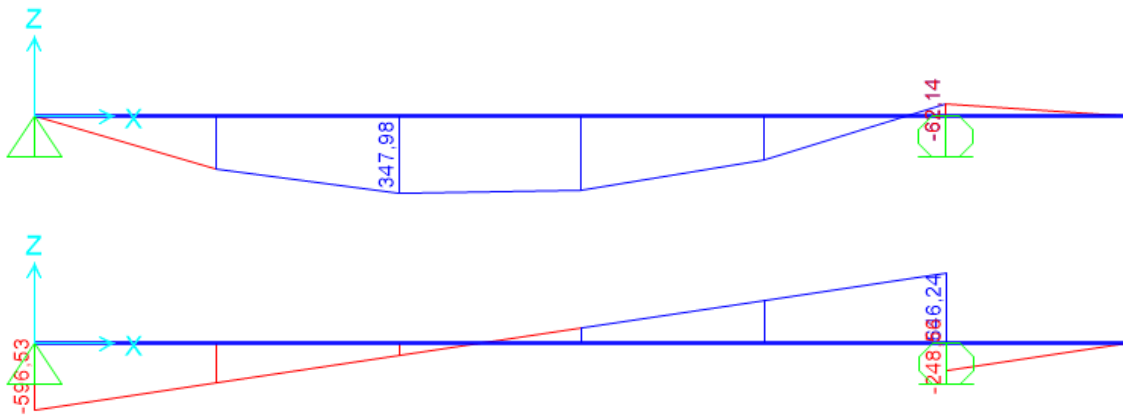


Figura 21: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 0,50 m. Luz=3,00 m.

- L=3,60 m

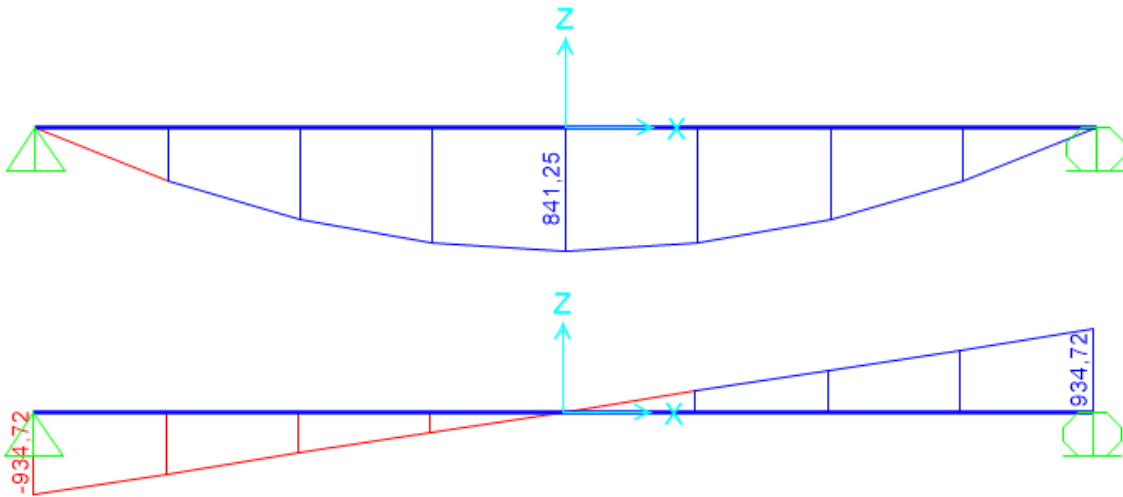


Figura 22: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=3,60 m.

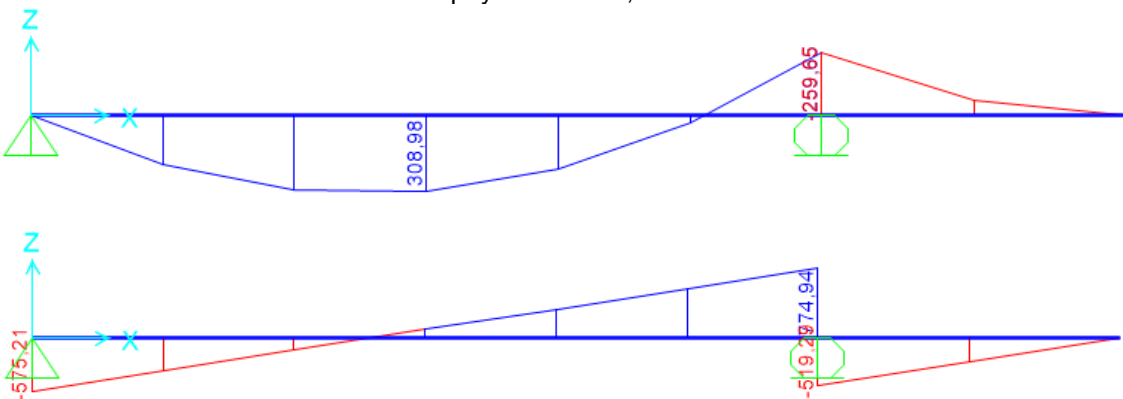


Figura 23: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 1,00 m. Luz=3,60 m.

- L=4,20 m

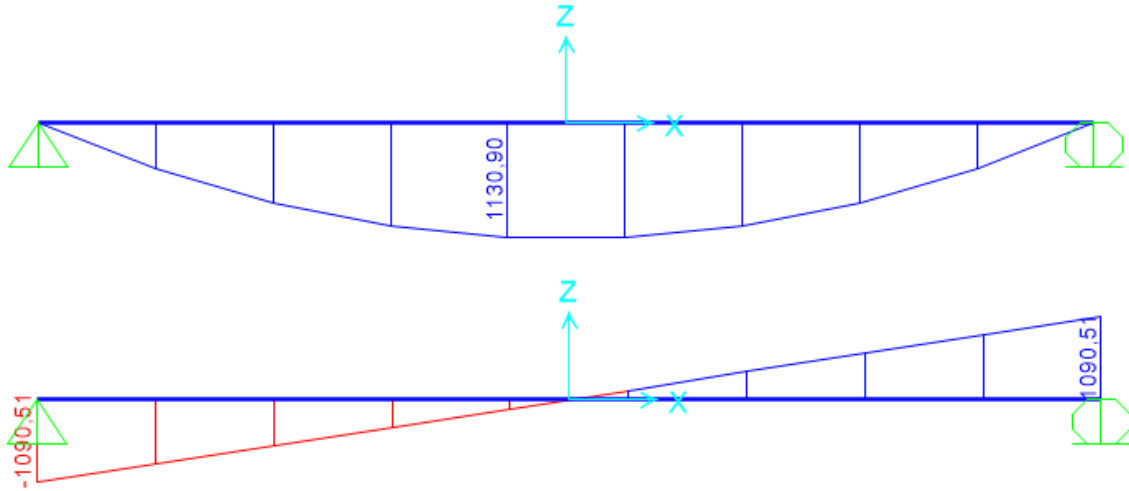


Figura 24: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=4,20 m.

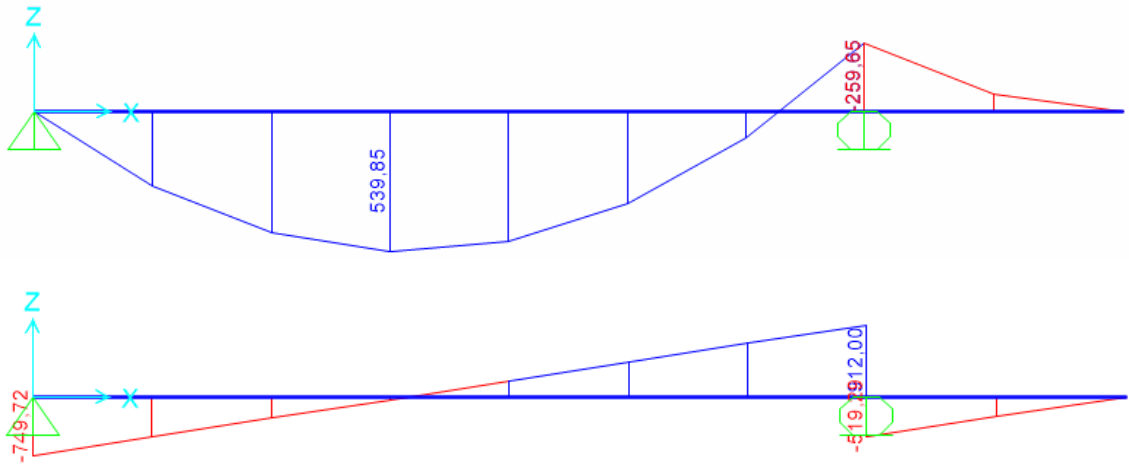


Figura 25: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 1,00 m. Luz=4,20 m.

- L=4,80 m

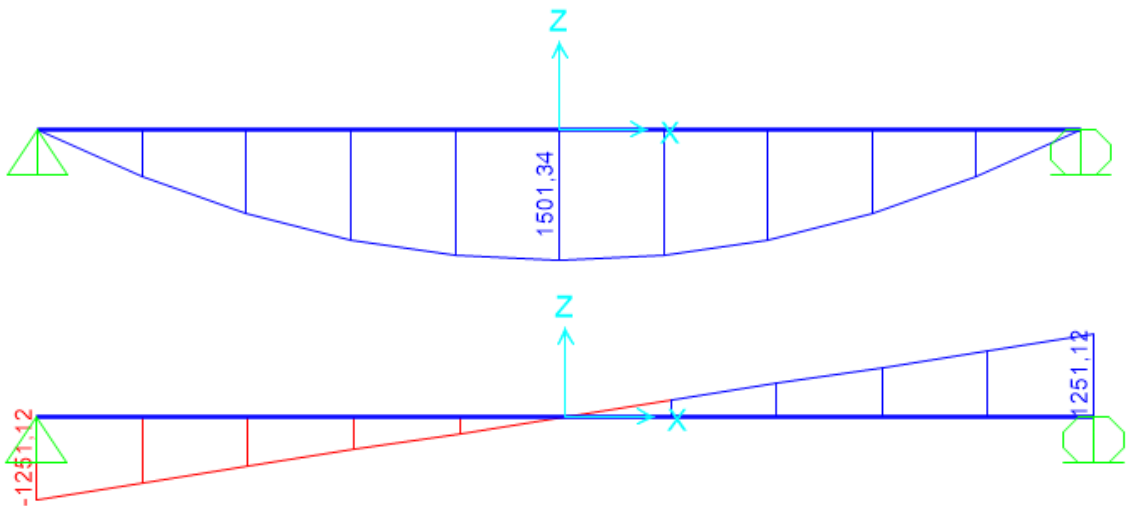




Figura 26: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=4,80 m.

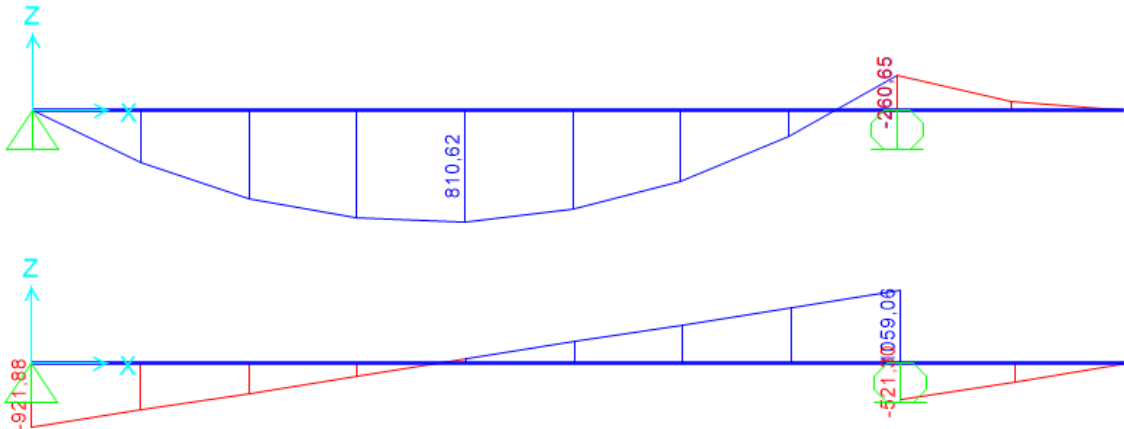


Figura 27: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 1,00 m. Luz=4,80 m.

- L=5,40 m

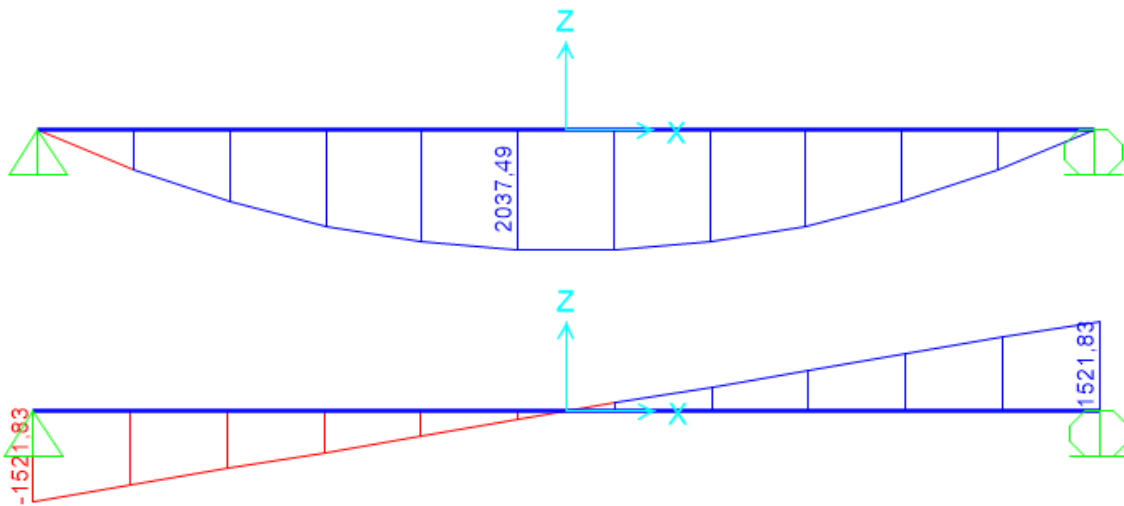


Figura 28: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=5,40 m.

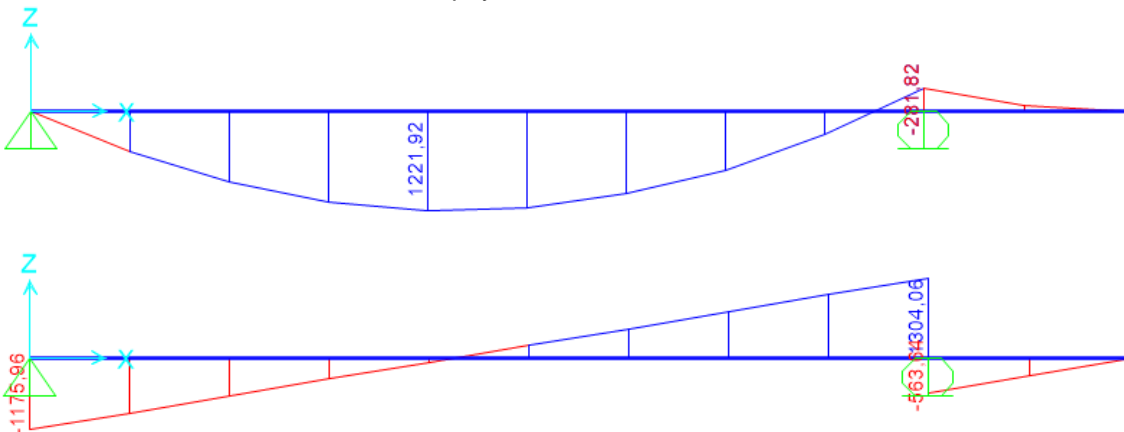




Figura 29: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 1,00 m. Luz=5,40 m.

- L=6,00 m

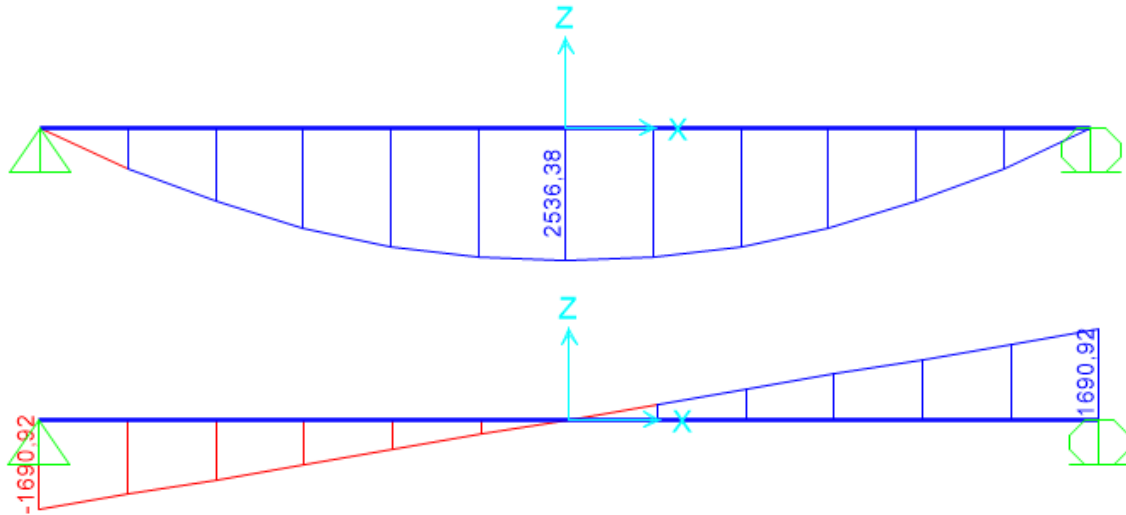


Figura 30: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga Simplemente Apoyada. Luz=6,00 m.

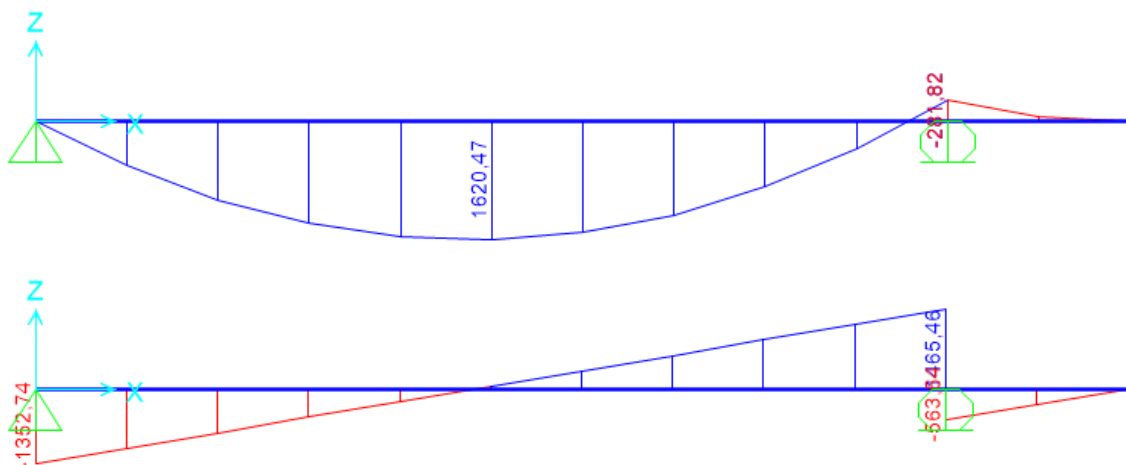


Figura 31: Diagramas de Momento Flector kg-m y Fuerza Cortante kg. Viga con Voladizo de 1,00 m. Luz=6,00 m.

### 3.3 Interpretación de Resultados del Análisis Estructural en SAP 2000 V16

En los diagramas de Momentos Flectores, se consideran Momentos Flectores positivos (+), cuando traccionan las fibras inferiores de la viga y se comprimen las fibras superiores, en tanto, se consideran Momentos Flectores negativos (-), cuando traccionan las fibras superiores de la viga y se comprimen las fibras inferiores. El software SAP 2000 V16 grafica, siguiendo la lógica antes expuesta, por ejemplo si el momento flector es positivo, el gráfico del mismo está en la parte inferior de la línea que modela la viga.



En los diagramas de Fuerzas Cortantes, el software SAP 2000 V16 representa las Fuerzas Cortantes positivas (+), cuando los valores están sobre la línea que modela la viga, y Fuerzas Cortantes negativas (-), cuando los valores están debajo de la línea que modela la viga.

Los resultados que interesan conocer son los valores de Momentos y Cortantes Máximos, para con esa información continuar con el diseño de las vigas en hormigón pretensado. A continuación se presenta la siguiente tabla de resumen:

<b>Resultados Software SAP 2000 V16</b>				
<i>Luz m</i>	<i>Mmáx (+) kg-m</i>	<i>Mmáx (-) kg-m</i>	<i>Vmáx kg</i>	<i>V kg tomado a h/2 h=peralte viga</i>
2,40	343,60	39,77	596,53	566,71
3,00	559,25	62,14	745,67	715,84
3,60	841,25	259,65	934,72	898,37
4,20	1130,90	259,65	1090,51	1054,16
4,80	1501,34	260,65	1251,12	1209,42
5,40	2037,49	281,82	1521,83	1471,10
6,00	2536,38	281,82	1690,92	1640,19

Tabla 14: Resumen de Resultados Software SAP 2000 V16. Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes.

### **3.4 Diseño en Hormigón Pretensado de las Vigas consideradas.**

Luego de obtener los diagramas de Momento Flector y Fuerzas Cortantes, usando las cargas de servicio y mayorada, se procede al diseño de las vigas en hormigón pretensado. A continuación se describe el procedimiento:

1. Asumir inicialmente como sección, los tipos de secciones transversales de vigas, que se mostraron en la sección 2.1.
2. Elegir el acero de preesfuerzo que la sección va a tener, considerando el recubrimiento necesario que va a tener el acero.
3. Definir las propiedades de los materiales: hormigón, acero de preesfuerzo.
4. Hallar las propiedades geométricas y mecánicas de la sección adoptada.
5. Calcular las pérdidas que sufre el esfuerzo de preesfuerzo, para determinar los esfuerzos y fuerzas de pretensado iniciales y efectivos.
6. Realizar el diseño a flexión del elemento, revisando el comportamiento del mismo en las diferentes etapas:
  - a. Al cortar los cables:  
En esta etapa, intervienen la fuerza inicial de pretensado y la carga muerta debida al peso propio del elemento.
  - b. Al colocar carga muerta en el elemento:  
En esta etapa se asume que la viga carga una losa, se debe considerar si la losa es o no apuntalada. En el presente estudio se



considera que las losas (incluyendo bovedillas y carpeta) no son apuntaladas.

- c. Cuando el elemento recibe cargas de servicio:

En esta etapa, se analiza el comportamiento del elemento ante la presencia de las cargas muertas permanentes y la carga viva; se considera que la viga y la losa trabajan como un solo elemento, por ello es necesario verificar que el ancho de la sección compuesta cumpla con los requisitos dados por el ACI-318 [7] y por lo tanto se debe calcular las propiedades geométricas de la sección compuesta.

- d. Comprobación a Resistencia Última:

Esta etapa, analiza el hipotético caso, de que el elemento se someta a una sobrecarga, por lo que se debe comprobar que la capacidad del elemento sea mayor a la demanda. En esta etapa si es necesario, se incluye en el elemento el uso de armadura pasiva, es decir acero normal de refuerzo.

Se debe verificar que el acero proporcionado al elemento sea el óptimo, cuidando que sea mayor o igual a la cantidad de acero mínimo y menor o igual a la cantidad de acero máximo, para asegurar que el tipo de falla en el elemento sea por fluencia.

En cada una de las etapas de diseño a flexión se debe verificar que los esfuerzos y fuerzas interiores producidos en el elemento, no sobrepasen los límites dados por el ACI-318[7].

7. Realizar el diseño a cortante del elemento, como lo es la componente del cortante vertical y cortante horizontal.

En el caso del cortante vertical, inicialmente se halla la fuerza cortante que proporciona el hormigón, luego se compara con el valor del cortante último dividido para el factor de resistencia  $\phi=0,75$ , y se determina si se necesita proporcionar acero para cortante vertical. En este estudio ninguna sección incluye acero para el cortante vertical.

El cortante horizontal debe analizarse, por cuanto, luego de montar en obra la viga, se cola una losa, por lo que es necesario comprobar este valor. En este estudio la fuerza cortante horizontal se proporciona dejando en la superficie de contacto de la viga con la losa, rugosidades de amplitud por lo menos igual a 6 mm.

8. Realizar el diseño por deflexiones del elemento, considerando para ello las cargas de servicio, revisando las deflexiones inmediatas y a largo plazo, aplicando el método de los multiplicadores dado por el PCI[8], considerando también los valores límites de acuerdo a la utilidad que va a tener el elemento, generalmente estos valores son dados por el ACI 318[7].





9. Se considera en el diseño de las vigas, dar capacidad para que trabajen una cierta longitud en voladizo.

El acero que se requiere para la longitud de viga que trabaja en voladizo, se coloca en la carpeta de hormigón armado, independiente del acero de la malla, además se debe forrar con plástico o polilitubos en esa distancia, el acero de preesfuerzo, para eliminar en ese tramo la adherencia entre el hormigón y el acero de preesfuerzo, para evitar que se adicione el efecto de tracción a las fibras superiores del elemento. En la siguiente tabla se indica la distancia que se ha considerado en cada viga, para diseñar la capacidad de trabajar en voladizo:

Luz para voladizo	
Luz m	Luz voladizo m
2,40	0,40
3,00	0,50
3,60	1,00
4,20	1,00
4,80	1,00
5,40	1,00
6,00	1,00

Tabla 15: Distancia de trabajo en voladizo.

El proceso descrito anteriormente, resulta ser un proceso iterativo, por cuanto las dimensiones de la sección de hormigón y la cantidad de acero, y por tanto las fuerzas interiores varían, por ello se ha empleado un programa de diseño realizado en el software Microsoft Excel, que permite automatizar y agilizar el proceso de diseño.

A continuación se procede a ilustrar el proceso antes descrito para la viga de luz  $L$  igual a 3,60 m.

- *Paso 1:* Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

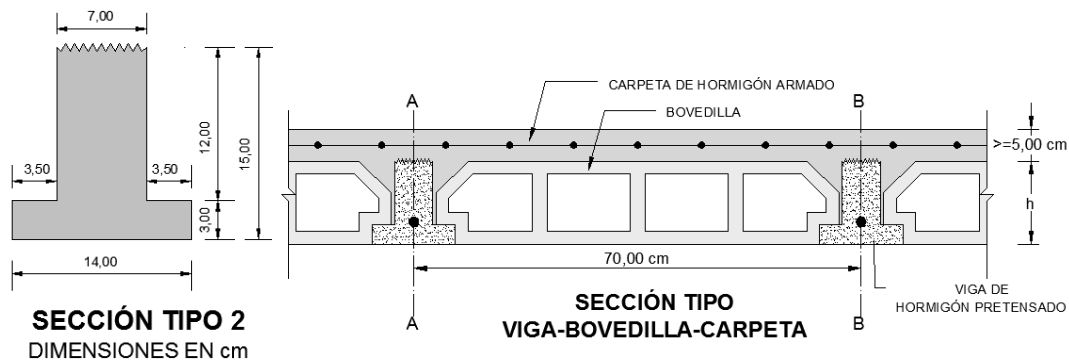


Figura 32: Sección inicial Ejemplo de Diseño.



- Paso 2: Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	2		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	0,63	cm <sup>2</sup>	
Recubrimiento libre de los alambres de preesfuerzo	$r_{libre}$	2,90	cm	Cumple lo establecido en la Tabla 20.6.1.3.3. del ACI 318-S-14
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	3,12	cm	

- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	350,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	7,08		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	126,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	2614,50	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	6,50	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	20880,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	4,56	cm	



Volumen	$V$	45360,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,17	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	8,50	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	6,50	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	307,59	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	402,23	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	30,24	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2/8$	$M_D$	4898,88	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	3,38	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	4,21	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	130,21	cm <sup>2</sup>	

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	%HR	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	717,35	23,81%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	311,18	10,33%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1338,46	44,42%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	5,26%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	16,18%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3012,93	100,00%	

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	8234,00	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9987,07	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	% $f_{pi}$	6,74	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	% $f_p$	30,17	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	6364,62	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

- Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.



Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado, tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe utilizar armadura pasiva
	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	9,27	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-122,41	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	25,20	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-134,59	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

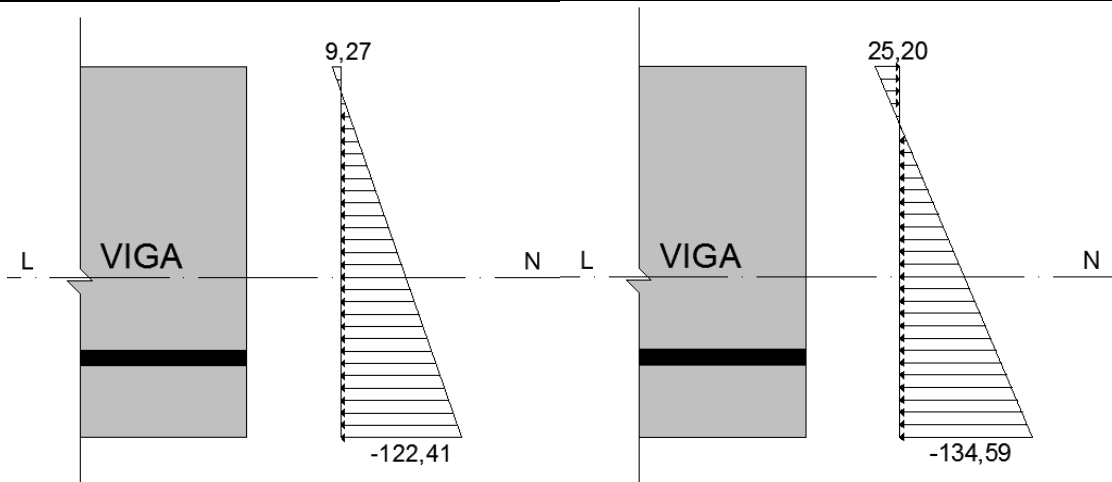


Figura 33: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en el extremo del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	80,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	44,11	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	



Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{CS}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{CS}/E_c$	0,83		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	183,01	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	184,11	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	20753,82	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	9072,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-93,53	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-17,07	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		

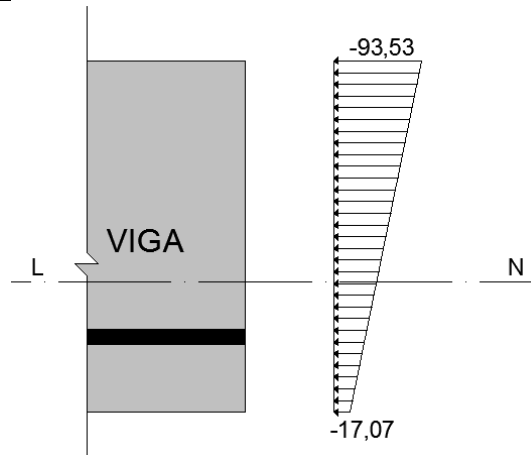


Figura 34: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	0,90	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	

Universidad de Cuenca



Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,58	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	16617,94	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	977,25	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	2373,45	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	16617,94	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	18780,82	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	9390,41	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-59,90	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (viga)	$f_b$	-10,80	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-11,87	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-1,70	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

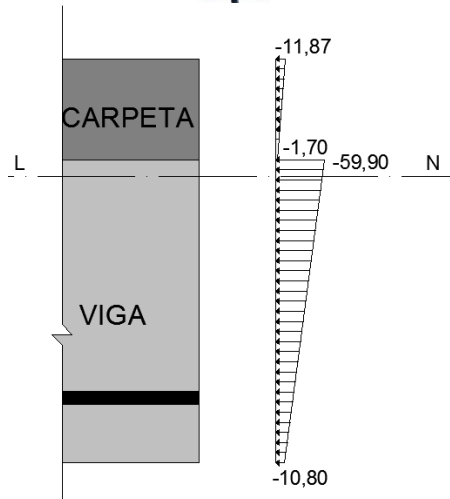


Figura 35: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,80		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	16,88	cm	
Cuantía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00092		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,04432		
	$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$	0,04		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15434,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	71400,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	9775,86	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	0,57	cm	
Momento Nominal	$M_n$	1622,70	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	505,02	kg/m	
Momento Último	$M_u$	841,25	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño = $M_u/0,9$	$M_d$	934,72	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		





<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	11,05	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	1213,26	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	1617,68	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	c	0,71	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,06847		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Altura del elemento pretensado	$h$	15,00	cm	
	$h/2$	7,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	898,37	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	66,76	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	2056,13	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

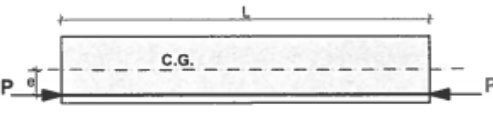


**Diseño a Cortante Horizontal**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	898,37	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	1197,83	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1671,37	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

- Paso 8: Diseño por Deflexiones.

**Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	7679,22	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	2614,50	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	13844,61	cm <sup>4</sup>	
	$e$	3,38	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	11,05	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta \uparrow_a$	0,62	cm	$\Delta \uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta \downarrow_b$	-0,10	cm	$\Delta \downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta \uparrow_1$	0,52	cm	$\Delta \uparrow_1 = \Delta \uparrow_a - \Delta \downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta \uparrow_c$	0,93	cm	$\Delta \uparrow_c = \Delta \uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta \downarrow_d$	-0,46	cm	$\Delta \downarrow_d = \Delta \downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta \uparrow_2$	0,47	cm	$\Delta \uparrow_2 = \Delta \uparrow_c - \Delta \downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta \downarrow_{adic}$	-0,04	cm	$\Delta \downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional} L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta \downarrow_L$	-0,08	cm	$\Delta \downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$

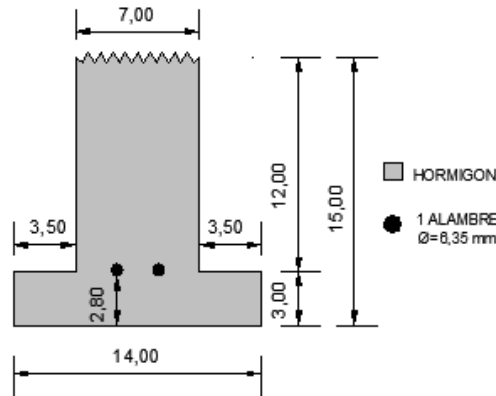


Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	1,35	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-0,23	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-1,05	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,12	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,08	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-0,13	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	1,00	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento Último	$M_u$	259,65	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm
Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0038	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0129	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0070	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,38	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	451,45	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,58	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	
Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm

Por lo tanto la sección diseñada es:



**SECCIÓN TIPO 2**  
DIMENSIONES EN cm  
2 ALAMBRES DE  $\varnothing=6,35$  mm

Figura 36: Sección final Ejemplo de Diseño.

El diseño de las vigas restantes, se realizó aplicando un procedimiento análogo al anterior, la información del diseño de cada una de ellas se puede observar en la sección de ANEXOS.

### 3.5 Resultados de Diseño Estructural

A continuación, se muestran los resultados de diseño estructural de las vigas:

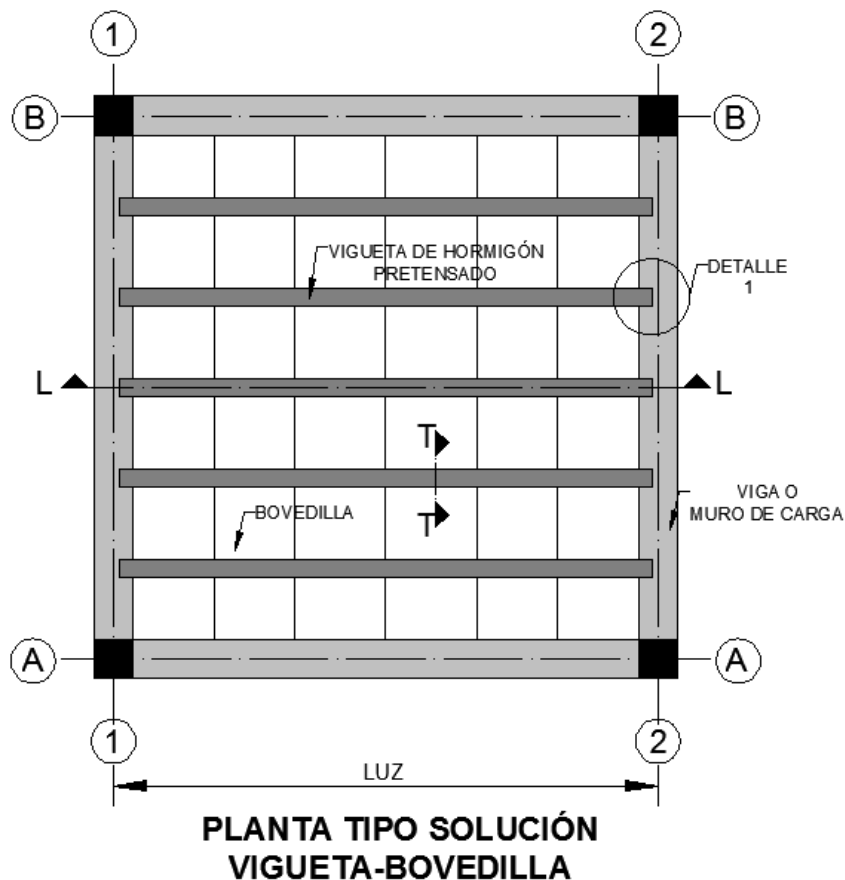
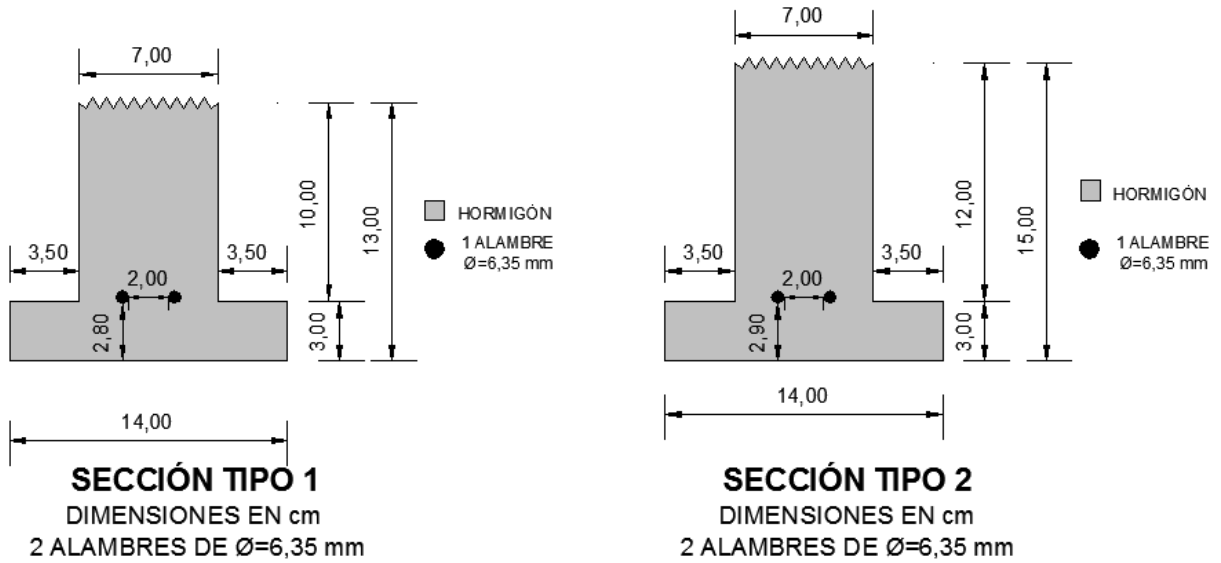
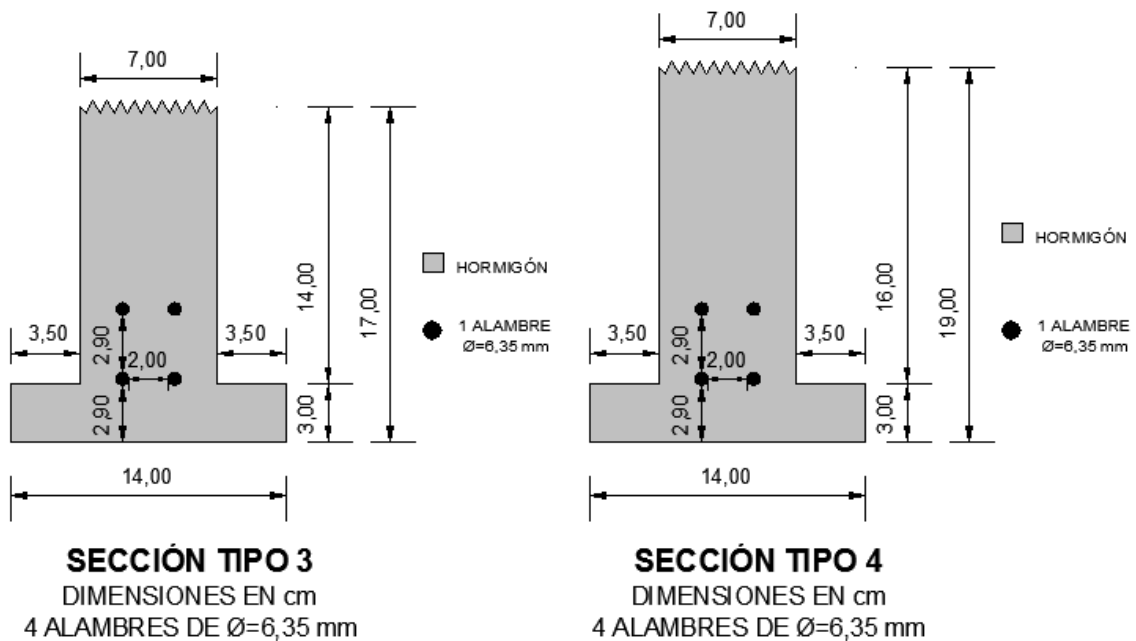


Figura 37: Planta Tipo Solución Vigueta-Bovedilla. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo.  
Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph. D.



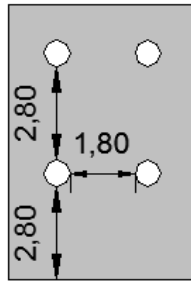
**CORTE T-T**  
SECCIÓN TRANSVERSAL VIGA  
PRETENSADA



**CORTE T-T**  
SECCIÓN TRANSVERSAL VIGA  
PRETENSADA

Figura 38: Corte T-T. Sección Transversal Vigas pretensadas. Dimensiones en cm. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo. Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.

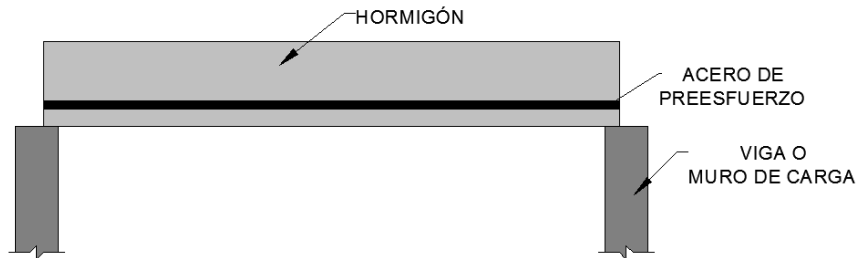
Los recubrimientos elegidos consideran el uso de una plancha de acero que ayuda al ajuste de cuñas al momento de tensar los alambres de pretensado.



**SECCIÓN TRANSVERSAL  
PLANCHA DE ACERO**

DIMENSIONES EN cm Ø=0,8 cm  
PARA AJUSTAR LAS CUÑAS

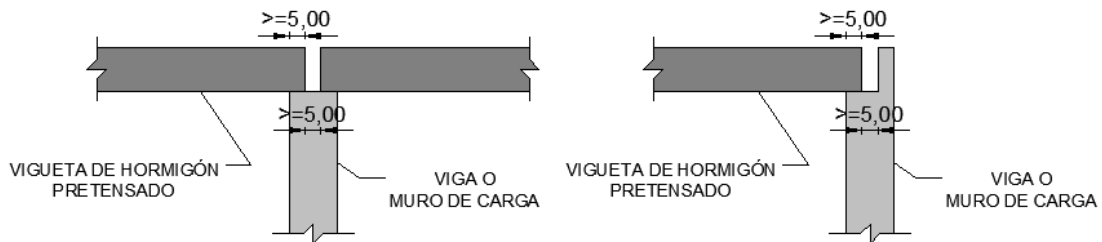
Figura 39: Plancha de acero usada para ajustar las cuñas al tensar los alambres de preesfuerzo.



**CORTE L-L**

**SECCIÓN LONGITUDINAL VIGA PRETENSADA**

Figura 40: Corte L-L. Sección Longitudinal Tipo Viga Pretensada. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo. Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.



**DETALLE 1**

**UNIÓN VIGA O MURO-VIGUETA  
PRETENSADA**

DIMENSIONES EN CM

Figura 41: Detalle 1. Unión Viga o Muro-Vigueta Pretensada. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo. Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.

A continuación se presenta la sección de losa luego de colar la carpeta de hormigón armado:

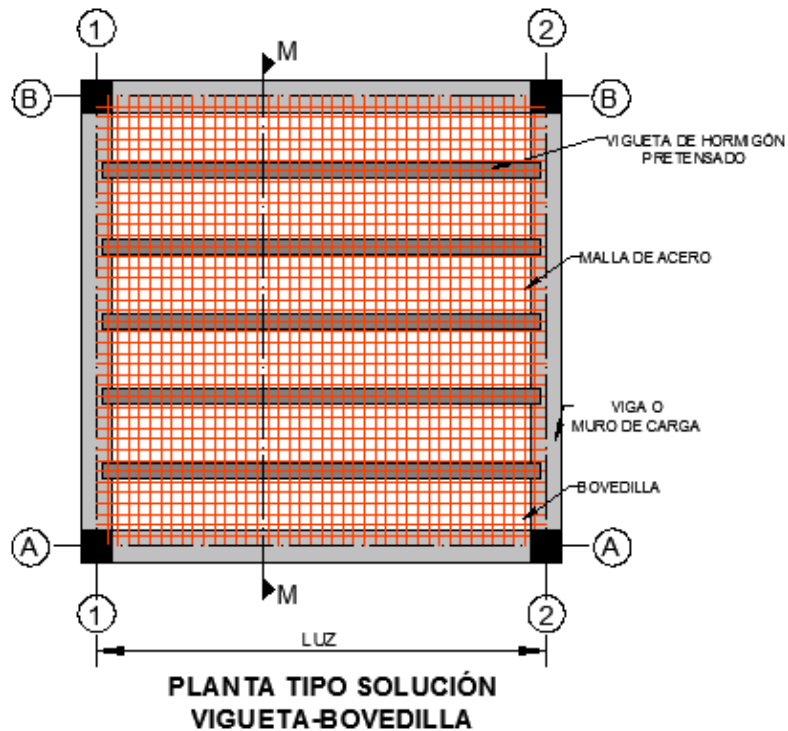


Figura 42: Planta Tipo Solución Vigueta-Bovedilla incluye malla de acero. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo. Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.

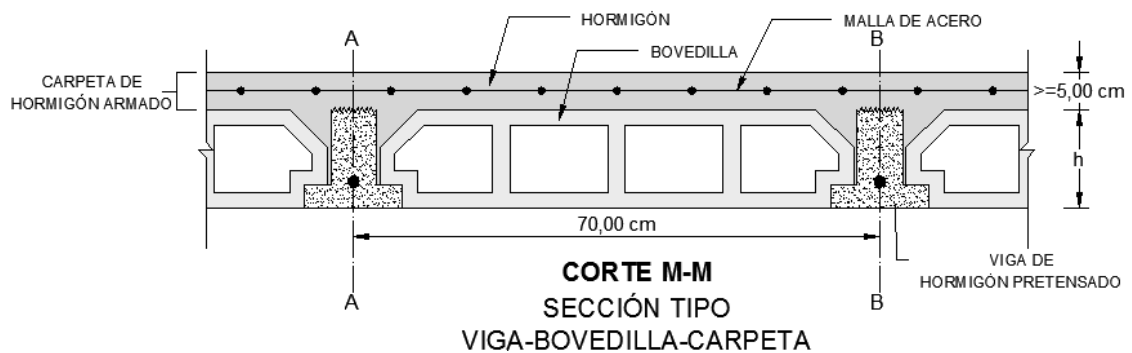


Figura 43: Corte M-M. Sección Tipo de Losa con Solución Vigueta-Bovedilla. Diseño: Antonio Marcos Sacoto Toledo. Revisión: Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.

**Especificaciones Técnicas**

Luz m	Tipo de Sección y Bovedilla		$f'_{ci}$ kg/cm <sup>2</sup>	$f'_c$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_{py}$ kg/cm <sup>2</sup>
	Sección	Bovedilla			
2,40	Tipo 1	Tipo 1	300	350	14338,84
3,00	Tipo 2	Tipo 1	300	350	14338,84
3,60	Tipo 2	Tipo 2	300	350	14338,84
4,20	Tipo 3	Tipo 2	300	350	14338,84
4,80	Tipo 3	Tipo 3	300	400	14338,84
5,40	Tipo 4	Tipo 4	300	400	14338,84
6,00	Tipo 4	Tipo 4	300	400	14338,84

Tabla 16: Especificaciones Técnicas



<i>Luz m</i>	<i>Longitud Real m</i>	<i>Longitud de Voladizo m</i>
2,40	2,35	0,40
3,00	2,95	0,50
3,60	3,55	1,00
4,20	4,15	1,00
4,80	4,75	1,00
5,40	5,35	1,00
6,00	5,95	1,00

Tabla 17: Longitudes reales de vigas y capacidad para trabajar en voladizo

<i>Luz m</i>	<i>Longitud del Refuerzo para Flexión Negativa y Forrado de Alambres en cada extremo m</i>	<i>Longitud de Desarrollo m</i>	<i>Refuerzo para Flexión Negativa que debe colocarse en la carpeta de losa</i>
2,40	0,50	0,30	1 Ø 10 mm
3,00	0,70	0,30	1 Ø 10 mm
3,60	1,40	0,30	1 Ø 10 mm
4,20	1,40	0,30	1 Ø 10 mm
4,80	1,30	0,30	1 Ø 10 mm
5,40	1,30	0,30	1 Ø 10 mm
6,00	1,25	0,30	1 Ø 10 mm

Tabla 18: Resumen de capacidad de trabajo en voladizo de cada viga.

La utilidad de las secciones diseñadas, para las luces consideradas es:

**Viga de Hormigón Pretensado considerando que posteriormente trabaja como Viga T**

<i>Luz m</i>	<i>Tipo de Sección Transversal y Bovedilla</i>		<i>Cargas sin Mayorar</i>					<i>Carga Mayorada kg/m</i>
	<i>Sección Transversal</i>	<i>Bovedilla</i>	<i>Peso Propio kg/m</i>	<i>Bovedilla + Carga Muerta Adicional kg/m</i>	<i>Carpeta H.A. kg/m</i>	<i>Carga Viva kg/m</i>	<i>Carga Granizo kg/m</i>	
2,40	Tipo 1	Tipo 1	26,88	110,88	84,00	140,00	14,00	497,11
3,00	Tipo 2	Tipo 1	26,88	110,88	84,00	140,00	14,00	497,11
3,60	Tipo 2	Tipo 2	30,24	114,11	84,00	140,00	14,00	505,02
4,20	Tipo 3	Tipo 2	30,24	114,11	84,00	140,00	14,00	505,02
4,80	Tipo 3	Tipo 3	31,92	126,00	84,00	140,00	14,00	521,30
5,40	Tipo 4*	Tipo 4	36,96	126,00	84,00	140,00	14,00	527,35
6,00	Tipo 4*	Tipo 4	36,96	73,00	84,00	140,00	14,00	463,75

\* Se debe apuntalar la viga en el centro de la luz y mantener el apuntalamiento, hasta que el hormigón de la carpeta superior alcance su resistencia característica a los 28 días.

Tabla 19: Características de las Vigas Diseñadas.

**3.6 Análisis de Resultados de Diseño Estructural**





Los resultados del presente estudio, cumplen con el objetivo del mismo, se presenta una serie de vigas prefabricadas-pretensadas orientadas a utilizar en proyectos de vivienda social.

La serie de vigas diseñadas, incluye varios tipos, cuya forma y dimensiones se han seleccionado en función de la luz y de la geometría de las bovedillas como parte de la solución constructiva vigueta-bovedilla para entresijos o techos, observando que el ancho mayor y menor de todos los tipos de viga, permanece invariable, en tanto, el peralte de cada tipo de viga coincide con el peralte de la bovedilla adecuada, cumpliendo así criterios de estandarización, por eso, en luces de 2,40 m y 3,00 m se usa el mismo tipo de viga, como también sucede en las luces de 3,60 m y 4,20 m; 5,40 y 6,00 m.

Al ser elementos pretensados pequeños, no se consideró utilizar cables de acero de preesfuerzo, sino más bien, alambres de acero de preesfuerzo, ello ayudó a cumplir de mejor manera los requerimientos de recubrimiento del acero de preesfuerzo y a optimizar el uso de este material.

Al utilizar en el diseño la técnica del hormigón pretensado, se pudo elegir secciones transversales de vigas, con menores dimensiones respecto al hormigón armado (solución tradicional), con ello se optimiza el uso del material, se dispone de elementos más livianos; también la reducción significativa de peraltes, permite considerar a las vigas diseñadas como una alternativa estética.

Las vigas diseñadas, al ser emplazadas en obra, no deben apuntalarse, salvo el caso de las luces más grandes (5,40 m y 6,00 m), que deben apuntalarse, únicamente en el centro de la luz, con ello se evidencia una importante reducción en el uso de encofrados y apuntalamientos, hecho que ahorra recursos de tiempo y dinero.

No hizo falta utilizar acero para resistir la fuerza cortante en los elementos, por cuanto el cortante vertical fue absorbido en su totalidad por el hormigón, en tanto que para el cortante horizontal basta el uso de rugosidades superficiales, a diferencia de los elementos de hormigón armado, en los cuales para vigas de luces similares se suele utilizar acero para cortante, lo que significa un ahorro de recursos.

El principal reto de diseño constituyó el diseño por deflexiones, porque si bien las secciones escogidas, inicialmente resistían los esfuerzos producidos por el momento flector y fuerza cortante por flexión, había que modificarlas por no cumplir las exigencias necesarias por deflexiones, por ello se debió iterar modificando las dimensiones de la sección de hormigón o acero, hasta obtener un resultado satisfactorio.

Los resultados de diseño presentados, pueden ser construidos por empresas dedicadas a la prefabricación de elementos pretensados, para luego ser aplicados por profesionales de la construcción en proyectos de construcción masiva de edificaciones como vivienda social o de ser el caso en otro tipo de construcción.



## 4. TRANSPORTE Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS PRETENSADOS EN OBRA

En este capítulo, se empieza tratando sobre el peso de los elementos pretensados diseñados, luego se determinan los medios de transporte fábrica-obra necesarios, se estudia la factibilidad del montaje manual, para finalmente abordar el proceso a seguir en obra.

### 4.1 Peso de los elementos pretensados

La solución vigueta-bovedilla, es orientada a preservar de manera óptima la calidad de los elementos estructurales, al mismo tiempo tiene por objeto incluir la participación de la mano de obra en el montaje de los elementos, que en un proyecto de Vivienda Social, de ser el caso, pueden ser los beneficiarios, siempre que se compruebe su idoneidad física y se les imparta la capacitación necesaria.

Entre las ventajas del hormigón pretensado respecto al hormigón armado, se encuentra la reducción de dimensiones de la sección de los elementos, hecho que permite tener una reducción del peso de los elementos, por lo cual se puede considerar viable que ciertos elementos pueden ser montados en obra empleando métodos manuales.

En el presente estudio, el hormigón es de peso normal, las vigas prefabricadas-pretensadas diseñadas tienen los siguientes pesos:

<b>Peso de las Vigas Pretensadas</b>		
<i>Luz m</i>	<i>Peso Propio kg/m</i>	<i>Peso Propio Total kg</i>
2,40	26,88	64,51
3,00	26,88	80,64
3,60	30,24	108,86
4,20	30,24	127,01
4,80	31,92	153,22
5,40	36,96	199,58
6,00	36,96	221,76

Tabla 20: Peso de las Vigas diseñadas.

A continuación, se tratará el transporte de los elementos prefabricados-pretensados desde la fábrica hasta el lugar donde se emplaza la obra y el personal capacitado que puede intervenir en el montaje manual de los elementos.

### 4.2 Transporte de los elementos prefabricados-pretensados a obra

Uno de los retos que debe ser eficazmente solucionado, que se presenta al utilizar el hormigón pretensado, es el transporte e izado de los elementos,



habitualmente realizado usando camiones y grúas que se requieren dependiendo del tamaño de los elementos.

Para evitar inconvenientes por este aspecto es necesario realizar una cuidadosa planificación de obra, que analice la maquinaria y mano de obra, necesaria para transportar e izar los elementos.

La solución estructural-constructiva vigueta-bovedilla es de montaje manual, emplea personal capacitado en los trabajos en obra, sin embargo, se debe utilizar camiones para llevar los elementos de la fábrica hasta la obra.

El procedimiento de transporte fábrica-obra, se debe realizar cuidando de que se cumplan las siguientes actividades:

- Determinar el peso de los elementos a transportar, para según eso, elegir el tipo de camión idóneo.
- Realizar las visitas necesarias, al lugar donde se está emplazando el proyecto, para determinar la ruta a seguir al transportar los elementos y el lugar de descarga en obra.
- Elaborar un plan de manejo de los elementos tanto en la carga como en la descarga de los mismos.
- Realizar una verificación visual del estado en el que parten los elementos hacia la obra, a fin de evitar inconvenientes posteriores por posibles fallas de fábrica.
- Al descargar los elementos en obra, se debe seguir las instrucciones recomendadas por el fabricante, inspeccionar y registrar el estado en el que se reciben los elementos.[15]

Para el transporte de elementos considerados como pequeños, como son los diseñados en el presente estudio, se usan camiones plataforma o semirremolques plataforma.

En caso de que las vigas deban almacenarse, se deben colocar por filas, separando cada fila con tabloncillos de madera, evitando formar una pirámide, sino más bien conviene colocar una viga sobre otra en la posición normal.



Figura 44: Forma correcta de almacenar las Vigas Prefabricadas-Pretensadas. Fuente: Blogspot Metal Bones.



### 4.3 Personal Capacitado para el Montaje Manual de los elementos en obra.

La mano de obra que interviene en el montaje manual de los elementos prefabricados-pretensados, debe tener las condiciones físicas y haber recibido una adecuada capacitación, a fin de evitar poner en riesgo la salud del trabajador.

Los profesionales responsables de la ejecución del proyecto deben planificar la capacitación de la mano de obra, disponer de un plan de seguridad y controlar el cumplimiento de dicho plan.

Orientados hacia el montaje manual de elementos pretensados, es necesario que en la capacitación de la mano de obra se incluyan los siguientes aspectos:

- Reglas de seguridad personal y grupal.
- Límites de carga que puede soportar cada trabajador, incluir recomendaciones de como cargar los elementos.
- Socializar y profundizar en la aplicación de la solución constructiva a utilizar.

En Ecuador, para determinar los valores límites de carga que puede soportar un trabajador, se hace referencia al Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, que en su Artículo 128. Manipulación de Materiales, da los siguientes límites:

<i>Categoría</i>	<b>Peso Máximo de Carga que puede soportar un Trabajador</b>	
	<i>Peso Máximo de la Carga que puede Soportar un Trabajador</i>	
	<i>lb</i>	<i>kg</i>
Varones hasta 16 años	35,00	15,91
Mujeres hasta 18 años	20,00	9,09
Varones de 16 a 18 años	50,00	22,73
Mujeres de 18 hasta 21 años	25,00	11,36
Mujeres de 21 años o más	50,00	22,73
Varones de más de 18 años	175,00	79,55

Tabla 21: Peso Máximo de Carga que puede soportar un Trabajador. Fuente: Ministerio de relaciones Laborales Ecuador.

Según la Tabla 21, se determina que el trabajador adecuado para el montaje manual de elementos pretensados, debe ser preferentemente de sexo masculino y mayor de 18 años, sin embargo, se recomienda que el peso máximo asignado a cada persona esté alrededor de 50 kg, hecho que se asume para el análisis siguiente:

En el proceso de montaje manual de elementos pretensados, deben intervenir varias personas, recomendando por lo menos dos personas para levantar una viga, hecho que está en función del peso de los elementos, especificado en la Tabla 20. Si se relacionan las Tablas 20 y 21, y la recomendación del párrafo



anterior, se determina el número mínimo de personas que deben intervenir al momento de levantar una viga:

<b>Personal Recomendado</b>	
<i>Luz m</i>	<i>Personal recomendado</i>
De 2,40 a 3,60	2 (1 en cada extremo)
De 4,20 a 4,,80	3 (1 en cada extremo y 1 en el centro)
De 5,40	4 (1 en cada extremo y 1 cada tercio de luz)
De 6,00	5 (1 en cada extremo y 1 cada cuarto de luz)

Tabla 22: Personal recomendado para levantar una viga pretensada.

Se debe recalcar que, en todo momento la seguridad y salud del personal deben ser la prioridad en la ejecución del proyecto, por lo que el control del montaje de elementos debe ser riguroso, en especial, determinar si se requiere más personal que el mínimo, también es importante tener en cuenta el carácter sostenido de trabajo, es decir, durante el transcurso de la jornada se debe realizar una rotación de personal, por ejemplo cada hora.



Figura 45: Personal levantando una viga. Ing. Nelson Navarro Campos. Ph.D.

#### **4.4 Procedimiento recomendado para el Montaje de los Elementos Prefabricados-Pretensados en Obra.**

En base a lo revisado en documentos técnicos de empresas de otros países, como Premex, Grupo Bari, Velosa, y la información proporcionada por el Director del presente estudio, se procede a describir el proceso de montaje en obra de la solución constructiva vigueta-bovedilla:

1. Se debe realizar la nivelación de los pórticos o muros en los que se apoyarán las vigas.

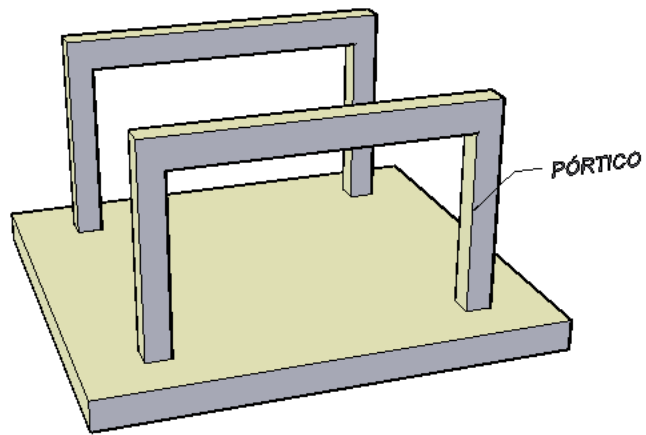


Figura 46: Nivelar los pórticos o muros que se apoyan las vigas.

2. Se colocan las vigas, revisando en cada momento, que la separación entre ellas sea la adecuada. Inicialmente se colocan las vigas, de tal manera que se apoyen sobre uno de los pórticos o muros.

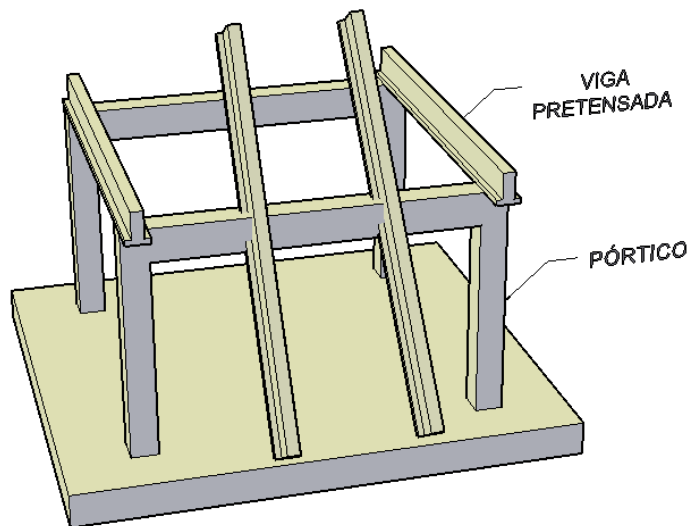


Figura 47: Vigas que se apoyan en uno de los pórticos.

Luego, con la ayuda de sistemas de poleas, entre varios obreros, se procede a ir colocando las vigas en ambos extremos.



Figura 48: Obreros colocando manualmente las vigas pretensadas. Fuente: PREMEX.

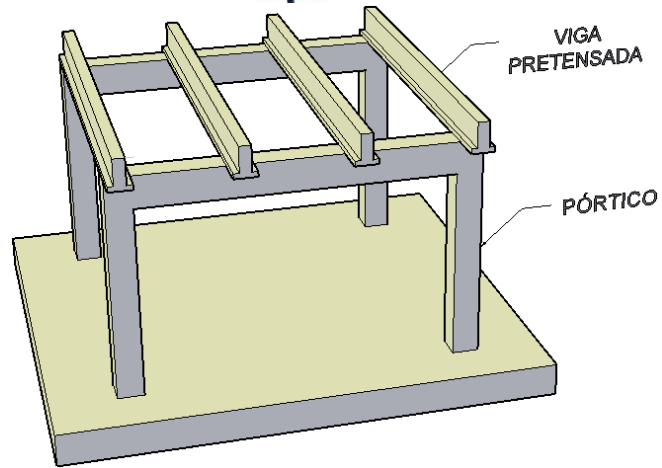


Figura 49: Vigas apoyadas sobre los pórticos o muros, luego de realizar el montaje.

3. Se procede a colocar las bovedillas entre las vigas, desde los extremos hacia el centro, de ser el caso, se realizan los ajustes necesarios.

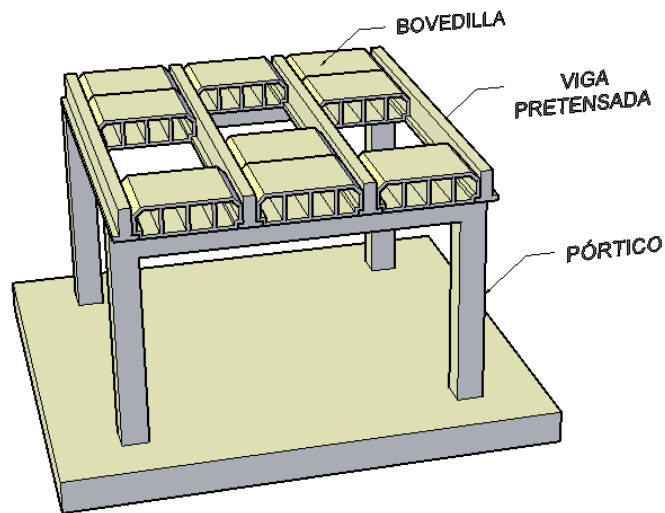


Figura 50: Proceso de colocación de bovedillas.

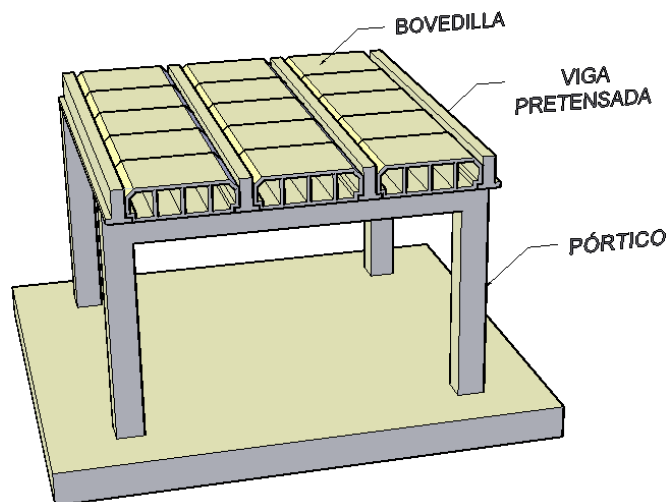


Figura 51: Vigas y bovedillas, previo a la colocación de la carpeta de hormigón armado.





- Los agujeros laterales de las bovedillas en los extremos, se deben recubrir con mortero, para evitar el eventual ingreso de hormigón en las bovedillas, hecho que agregaría peso muerto.

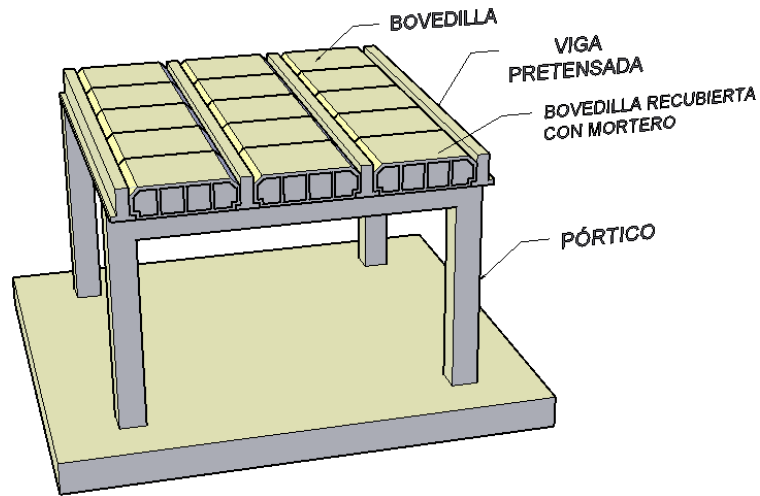


Figura 52: Bovedillas de los extremos recubiertas con mortero.

- Se coloca la malla de acero que es parte de la carpeta de hormigón armado, para ello es recomendable tender tabloncillos de madera, a fin de no pisar sobre las bovedillas.

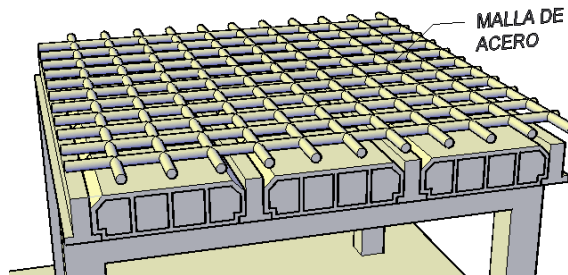


Figura 53: Malla de acero colocada previo al colado del hormigón.

- Antes de colar el hormigón, se recomienda humedecer las vigas y bovedillas.
- Se cola el hormigón de la carpeta, primero se descarga el hormigón sobre las vigas pretensadas y luego se tiende sobre las bovedillas.

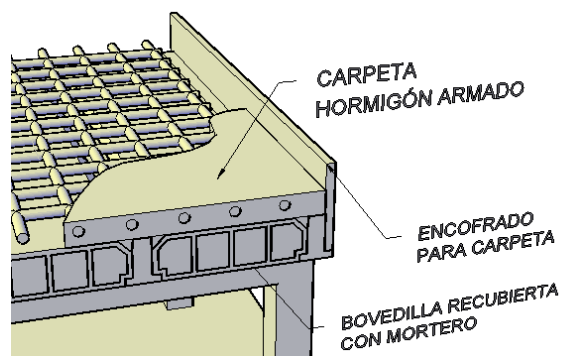


Figura 54: Detalle de colado de la carpeta de hormigón armado.



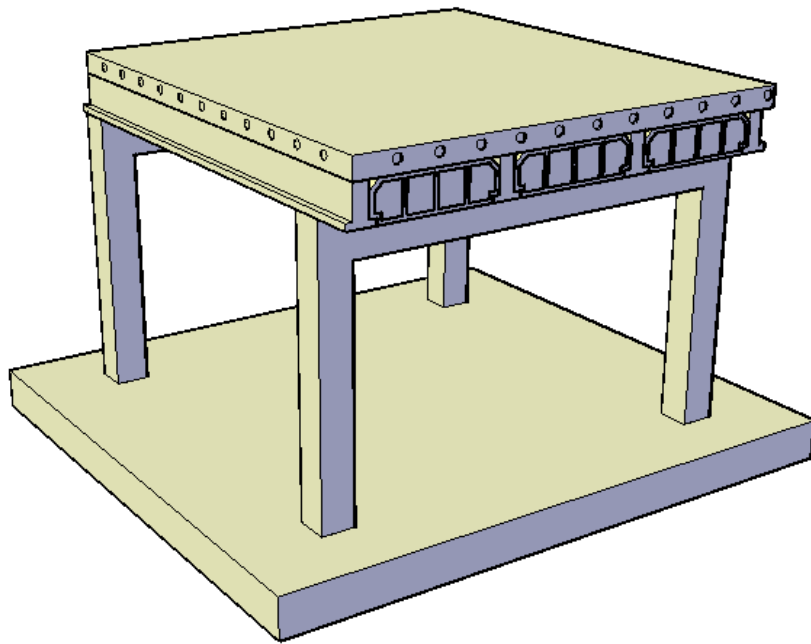


Figura 55: Entrepiso o Techo terminado, construido con la solución vigüeta-bovedilla.



## **5. COMPARACIÓN ENTRE LA SOLUCIÓN DE VIGUETA-BOVEDILLA Y LA SOLUCIÓN TRADICIONAL**

Luego de revisar el procedimiento de montaje de los elementos pretensados usados en la solución constructiva vigueta-bovedilla, en este capítulo se trata las ventajas que ofrece la prefabricación en la construcción, luego se establecen las ventajas y desventajas entre la solución vigueta-bovedilla y solución tradicional, para finalmente evaluar la factibilidad de la solución vigueta-bovedilla en la vivienda social.

### **5.1 Ventajas de la Prefabricación en la Construcción**

Entre las ventajas de la prefabricación, en general, se puede mencionar:

- Las condiciones climáticas no afectan mayormente en la producción, porque ésta se realiza en fábricas que presentan condiciones de trabajo estables.
- El control de calidad se puede hacer con mayor orden y rigor, por estar sujeto a procesos productivos ordenados, normados y constantemente evaluados.
- El uso de equipo y maquinaria tecnológica, reduce el uso de la mano de obra, contribuye a tener un volumen de producción diaria estable.
- Contribución a la racionalización de la construcción, desde la planificación del proyecto hasta la ejecución del mismo.
- Reducción del impacto ambiental generado por la construcción, especialmente por disminuir el desperdicio de material en obra, la generación de polvo y residuos.
- Se tiene menor probabilidad de error en la elaboración de los presupuestos, porque el costo de los elementos prefabricados, al ser un producto de fábrica puede determinarse con bastante exactitud.
- La velocidad de montaje en la construcción aumenta, representando un beneficio técnico-económico-social tanto para el constructor como para el propietario de la construcción. [12][3]

### **5.2 Ventajas de la Solución Constructiva Vigueta-Bovedilla respecto a la Solución Tradicional**

Entre las ventajas de la solución constructiva vigueta-bovedilla respecto a la solución tradicional, se tienen:

- Al ser una solución prefabricada, tiende a disminuir la probabilidad de que calidad se vea afectada por limitaciones técnicas-económicas que derivan en que la mano de obra influye en gran medida en la calidad de la construcción.



- Se requiere secciones transversales con menores dimensiones respecto al hormigón armado (solución tradicional), lo cual produce un ahorro de material y hace que los elementos sean más livianos.
- Mayor facilidad de ser prolijos en los acabados, es decir, tener mayor exactitud en formas y dimensiones, hecho que se logra por ejemplo usando moldes de acero, fabricados industrialmente para el efecto.
- Se usan bovedillas, que son diseñadas justamente para alivianar las losas y evitar el uso de encofrados, además, cuya elaboración es susceptible de industrializar.
- Facilidad en la capacitación de la mano de obra, por cuanto, los procesos que ésta debe desempeñar, no impactan en mayor porcentaje, en la calidad de los materiales con los que se construyen los elementos estructurales.
- El tiempo requerido de construcción es menor respecto a la solución tradicional, según un estudio comparativo [16], para una misma losa, demuestra que empleando la solución vigueta-bovedilla se requieren 3 días para construirla, en tanto que con la solución tradicional se requieren 5 días.
- Se reduce sustancialmente el uso de encofrados artesanales (madera) o metálicos, lo que representa ahorro de tiempo y dinero.
- Se reduce el uso de apuntalamientos, lo que genera una reducción de tiempo, dinero y obras previas como estabilizar la superficie de apoyo de los puntales.
- Se reduce los llamados “tiempos muertos” o desperdicios de tiempo de la mano de obra, que usualmente se presentan en la solución tradicional.

### **5.3 Desventajas de la Solución Constructiva de Vigueta-Bovedilla respecto a la Solución Tradicional**

Entre las desventajas de la solución constructiva de vigueta-bovedilla respecto a la solución tradicional se tienen:

- En nuestra ciudad, no existen empresas especializadas en la elaboración de bovedillas.
- En nuestro medio, todavía no es aplicada esta solución, por lo que hasta introducirla en el mercado de la construcción puede ser costosa, aunque considerándola como proceso industrializado, aplicada a programas de construcción masiva, como vivienda social, en los que se necesita un gran volumen de producción, resulta más rápida de ejecutar respecto a la solución tradicional y el costo de ambas soluciones se equipara o inclusive el costo de la solución vigueta-bovedilla resulta ser menor al de la solución tradicional, según estudios comparativos [16] [17] realizados entre las dos soluciones constructivas en países donde son aplicadas a gran escala.

### **5.4 Comparación técnica-económica entre la Solución Constructiva Vigueta- Bovedilla respecto a la Solución Tradicional**

Se determina que la solución vigueta-bovedilla respecto a la solución tradicional, es de mayor rapidez de ejecución, sin poner en riesgo la calidad de la



construcción, optimiza el uso de los materiales, reduce desperdicios y generación de polvo en obra, por ello es amigable con el medio ambiente, sin embargo, hasta posicionarse en el mercado de la construcción de nuestra ciudad podría ser costosa, pero aplicada a gran escala y por las ventajas técnicas que ofrece, resulta ser una solución factible de aplicar en vivienda social y de ser el caso en otros tipos de edificaciones.



## CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el presente estudio se puede concluir lo siguiente:

- En los proyectos de Vivienda Social en el Ecuador, se usa lasas planas de hormigón armado como solución de entepiso o techo, por lo tanto la solución del presente estudio contribuye a mejorar la solución constructiva usada.
- La solución vigueta-bovedilla se ejecuta en menor tiempo respecto a la solución tradicional, siendo ventajosa para aplicar en proyectos estatales de Vivienda Social, en los cuales se puede incluir a los beneficiarios como parte de la mano de obra, por lo tanto se desarrolla una relación estado-ciudadanos que contribuye a mejorar la calidad de vida de los beneficiarios y por ende al progreso de la ciudad y país.
- La solución constructiva vigueta-bovedilla, desplaza al bloque de mampostería (para paredes) como elemento para alivianar las losas, también reduce el uso de encofrados y apuntalamientos, lo que representa un ahorro de dinero y tiempo de ejecución en los proyectos.
- Se ha identificado que el uso de tecnologías de prefabricación tanto de hormigón armado como de hormigón pretensado, al controlar de mejor manera aspectos como por ejemplo el control de calidad y al ser un proceso industrial, da la posibilidad de llegar a establecer un mayor volumen de producción diaria, que disminuye en la planificación de los proyectos la incertidumbre respecto al tiempo de ejecución.
- Se presenta una serie de vigas prefabricadas-pretensadas de sección inicial como T invertida para diferentes luces, contribuyendo en la generación de material técnico de soluciones prefabricadas para la construcción de entepisos y techos.
- El transporte de los elementos, es uno de los aspectos que se debe analizar adecuadamente en la planificación de los proyectos, por cuanto representa un costo y demanda cuidado en la ejecución del mismo.
- Se ha demostrado que el peso de las vigas diseñadas, permite considerar la participación de personal previamente seleccionado y capacitado, para el montaje en obra de los elementos, ofreciendo en proyectos sociales la posibilidad de ahorrar dinero en la contratación de mano de obra por cuanto los beneficiarios pueden asumir dicho rol.
- La aplicación de soluciones que incluyen la prefabricación, debe ser considerada desde la concepción de los proyectos de edificaciones, siendo indispensable que el ingeniero, el arquitecto y demás profesionales trabajen en equipo durante toda la planificación y ejecución del mismo, para aprovechar al máximo las bondades de la prefabricación.
- La prefabricación en edificaciones de la ciudad de Cuenca, puede considerarse “joven”, por lo que es responsabilidad de los profesionales de la construcción incorporarla, elaborar catálogos de soluciones prefabricadas, para consolidarla en el mercado de la construcción, a fin de optimizar

## Universidad de Cuenca



recursos en la construcción. Este estudio es un aporte en esa dirección, con el anhelo de mejorar la cultura constructiva en Cuenca y el Ecuador.



## RECOMENDACIONES

Finalmente se termina el presente estudio, planteando algunas ideas y recomendaciones:

- El presente estudio, es de aplicación inmediata como solución de entresijos y techos de la vivienda social, sin embargo, también puede utilizarse en otras edificaciones.
- Realizar un estudio con mayor nivel de detalle, respecto a soluciones constructivas para uniones y conexiones de elementos prefabricados-pretensados.
- Complementar este estudio con otro dedicado a profundizar sobre el comportamiento de las bovedillas fabricadas de diferentes materiales.
- Se sugiere realizar estudios dedicados a profundizar en el mantenimiento de los elementos prefabricados pretensados durante la vida útil de las edificaciones.
- Indagar en la aplicación de hormigones ligeros en elementos pretensados, para determinar la factibilidad de uso respecto al hormigón de peso normal.
- Elaborar estudios futuros, orientados a prefabricar otros elementos estructurales y no estructurales para la construcción, como por ejemplo columnas, elementos para mampostería y otros.



## REFERENCIAS

- [1] Loja Suconata Martha Azucena. Investigación de las Principales Tecnologías Constructivas de Edificaciones utilizadas en la Ciudad de Cuenca, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera Civil, Universidad de Cuenca, 2015, Director: Ing. Nelson Navarro Campos, Ph.D.
- [2] Nieto Cárdenas Jaime Xavier, Diseño de una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas, Tesis previa a la obtención del título Magister en Construcciones, Universidad de Cuenca, 2014, Director: Ing. Roberto Gamón Torres, Ph.D.
- [3] Alvarado Duffau Andrea, Construcción industrializada para la vivienda social en Chile: análisis de su impacto potencial, Ciclo Seminarios Académicos Economía, 2010.
- [4] P. S. Jara Palacios, F. D. Astudillo Castro, I. E. Astudillo Castro, Utilización de sistemas constructivos industrializados existentes en el medio aplicados al diseño de multifamiliares, Centroeducativo y Centro de Salud, Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto, Universidad de Cuenca, 2014, Director: Arq. Augusto Samaniego Sánchez.
- [5] Reisser Gasser Juan. La racionalización y prefabricación de la construcción, una experiencia personal, Tesis para la obtención de Magister en Ciencias, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005.
- [6] Arthur H. Nilson, Diseño de Estructuras de Concreto, McGraw-Hill Interamericana S.A., Duodécima Edición, 2001.
- [7] Comité ACI 318, "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario", Farmington Hill Michigan, USA. 2014.
- [8] PCI Design Handbook, "Precast and Prestressed Concrete", Chicago Illinois: Fifth Edition, 1999.
- [9] Alfonso del Águila García, Susana Hernando Castro, Palmira Rosa Martín García, Hacia una nueva vivienda social flexible mediante la investigación de procesos productivos industriales innovadores, Universidad Politécnica de Madrid, 2011.
- [10] Barona Díaz Edgar y Sánchez Rodríguez Fernando, Los materiales y las tecnologías constructivas de la vivienda de interés básica y social urbana en Puebla-México, Revista El Hombre y la Máquina, no. 26, 2006.
- [11] Barona Díaz Edgar, Olivera Ranero Andrés, Flores González Sergio, Artilles López Dora María, Vintimilla Valdivieso Álvaro Francisco, Mantenimiento y desempeño durable de la vivienda social. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 2009.
- [12] Carrasco Castro Fabián, Hormigón Pretensado. Diseño de Elementos Isostáticos, Universidad de Cuenca, Primera Edición, 2011.
- [13] Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-SE-CG, NEC-SE-HM. Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 2015.





- [14] E. Nawy G., Prestressed Concrete: A Fundamental Approach, New Jersey: Pearson Prantice Hall- Fifth Edition, 2006.
- [15] Méndez Delgadillo Jaime, Principios prácticos para la prefabricación y aplicación de presfuerzo en concreto, Universidad Autónoma de México, 2015.
- [16] Capítulo 6: Costos y tiempos del sistema (1992), Universidad de Sonora, Recuperado de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4124/Capitulo6.pdf>.
- [17] Rosales Veliz Julio César, Análisis comparativo de costos entre el sistema de losas prefabricadas vigueta y bovedilla, losa densa y losa-acero, Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005, Director: Ing. Jorge Enríquez Díaz.



**A1.- Diseño de Vigas prefabricadas-pretensadas**

**A1.1.- Viga de luz  $L$  igual a 2,40 m.**

- **Paso 1:** Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

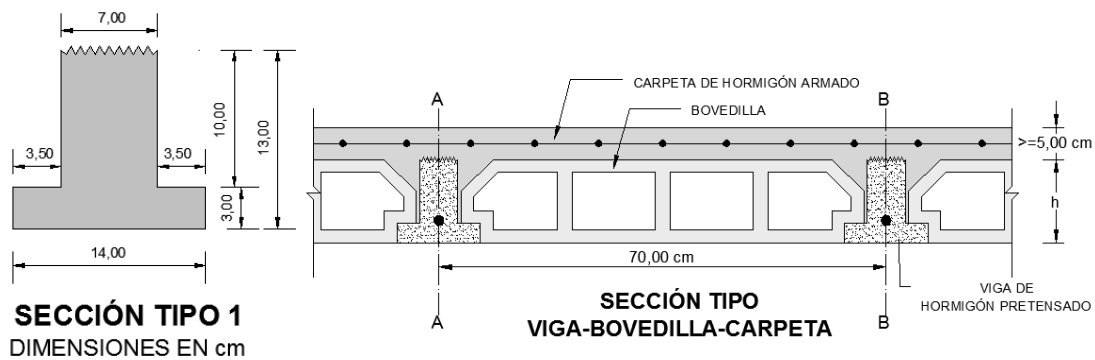


Figura 56: Sección Transversal inicial Viga de  $L=2,40$  m.

- **Paso 2:** Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	2		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	0,63	cm <sup>2</sup>	
Recubrimiento libre de los alambres de preesfuerzo	$r_{libre}$	2,90	cm	Cumple lo establecido en la Tabla 20.6.1.3.3. del ACI 318-S-14
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	3,22	cm	

- **Paso 3:** Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	350,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	



Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	

**Propiedades del Acero de Preesfuerzo**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	7,08		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

**Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	112,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	1723,90	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	5,56	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	12960,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	3,92	cm	
Volumen	$V$	26880,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,07	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	7,44	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	5,56	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	231,78	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	309,91	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	26,88	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2 / 8$	$M_D$	1935,36	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	2,35	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	4,21	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	116,21	cm <sup>2</sup>	

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

**Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	%HR	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	



Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	733,61	23,82%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	311,95	10,13%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1388,10	45,07%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	5,15%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	15,83%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3079,59	100,00%	

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	8234,00	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9920,41	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	$\%f_{pi}$	6,86	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	$\%f_p$	31,04	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	6283,43	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

▪ Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado, tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe utilizar armadura pasiva
	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	1,44	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-129,58	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	9,79	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-135,82	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión	
		CUMPLE			

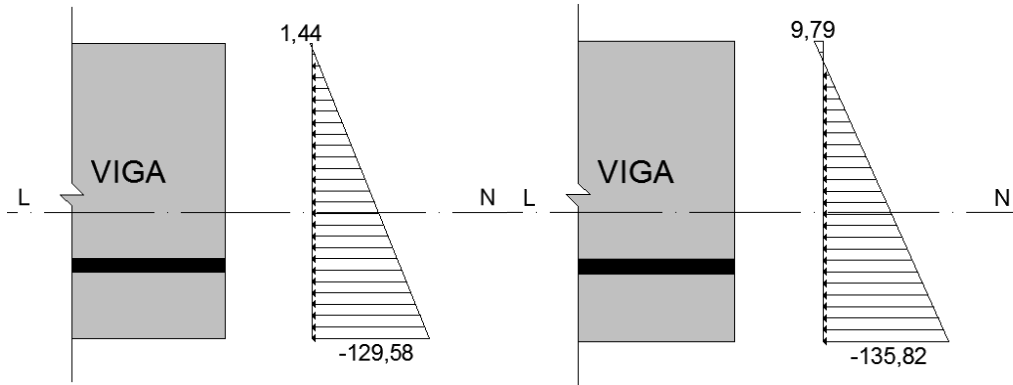


Figura 57: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<i>Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.</i>				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	80,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	40,88	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,83		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	178,40	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	180,88	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	8991,36	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	4032,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-57,07	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-55,38	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		

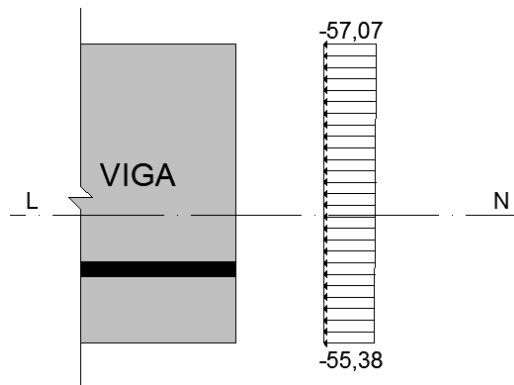


Figura 58: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	0,60	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,60	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,60	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,50	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	16676,10	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	794,79	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	1765,36	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	16676,10	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	7154,60	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	3577,30	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	



	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	S-14 Apartado 24.5.2.1
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-37,99	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-6,08	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-0,64	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

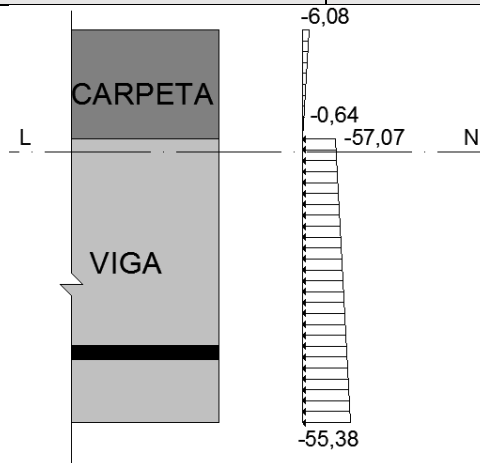


Figura 59: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,80		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	14,78	cm	
Cuantía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,0013		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,06280		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,06		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15434,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	61200,00	kg	



Fuerza Total de Tensión	$T$	9775,86	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	0,66	cm	
Momento Nominal	$M_n$	1412,79	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	497,11	kg/m	
Momento Último	$M_u$	343,60	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño= $M_u/0,9$	$M_d$	397,69	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		

<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	9,19	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	1013,67	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	1351,56	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	$c$	0,83	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,05064		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Altura del elemento pretensado	$h$	13,00	cm	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
	$h/2$	6,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	566,71	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.

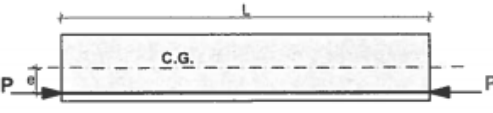




Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	37,72	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	1800,37	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

Diseño a Cortante Horizontal				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	566,71	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	755,61	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1463,47	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

- Paso 8: Diseño por Deflexiones.

Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	7668,93	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	1723,90	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	9864,90	cm <sup>4</sup>	
	$e$	2,35	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	9,19	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta \uparrow_a$	0,29	cm	$\Delta \uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta \downarrow_b$	-0,03	cm	$\Delta \downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta \uparrow_1$	0,26	cm	$\Delta \uparrow_1 = \Delta \uparrow_a - \Delta \downarrow_b$



Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta\uparrow_c$	0,47	cm	$\Delta\uparrow_c = \Delta\uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta\downarrow_d$	-0,13	cm	$\Delta\downarrow_d = \Delta\downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta\uparrow_2$	0,34	cm	$\Delta\uparrow_2 = \Delta\uparrow_c - \Delta\downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,01	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional}L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,02	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
<b>Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]</b>				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	0,63	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-0,06	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-0,31	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic'}$	-0,03	cm	$\Delta\downarrow_{adic'} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,02	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\uparrow_{final}$	0,21	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	0,67	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

<b>Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga</b>			
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Momento Último	$M_u$	39,77	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm
Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0036	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0113	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0080	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,57	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	389,59	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,10	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	



Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm
------------------------	-------	-------	----

Por lo tanto la sección diseñada es:

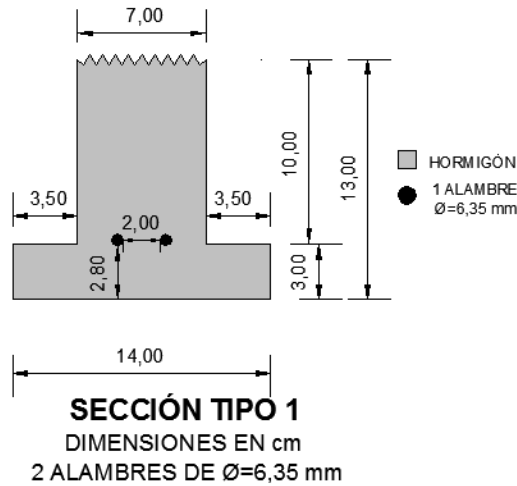


Figura 60: Sección transversal final Viga de L=2,40 m

### A1.2.- Viga de luz L igual a 3,00 m.

- Paso 1: Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

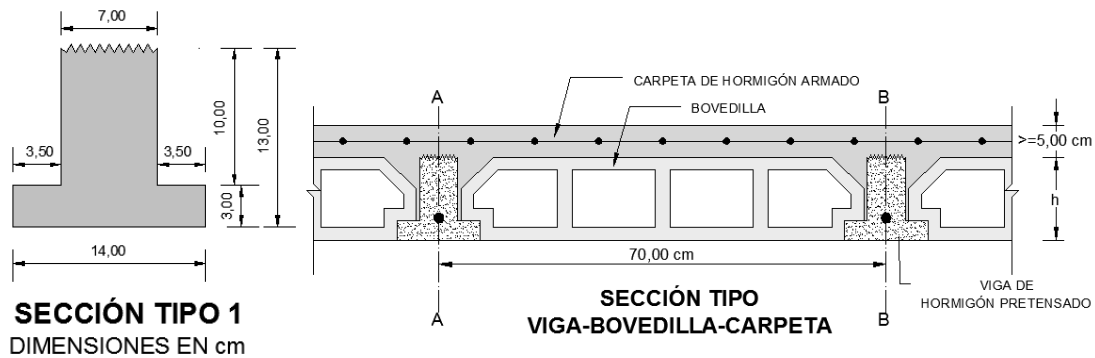


Figura 61: Sección Transversal inicial Viga de L=3,00 m.

- Paso 2: Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	2		Tomado de Emcocables
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	0,63	cm <sup>2</sup>	
Recubrimiento libre de los alambres de preesfuerzo	$r_{libre}$	2,90	cm	Cumple lo establecido en la Tabla 20.6.1.3.3. del ACI 318-S-14



Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón

$r_{cg}$	3,22	cm
----------	------	----

- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	350,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	7,08		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	112,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	1723,90	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	5,56	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	12960,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	3,92	cm	
Volumen	$V$	26880,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,07	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	7,44	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	5,56	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	231,78	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	309,91	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	26,88	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2 / 8$	$M_D$	1935,36	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	2,35	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	4,21	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$



Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	116,21	cm <sup>2</sup>
---	----------	--------	-----------------

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	%HR	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	722,28	23,76%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	311,95	10,26%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1359,60	44,73%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	5,22%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	16,03%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3039,76	100,00%	

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	8234,00	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9960,24	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	% $f_{pi}$	6,78	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	% $f_p$	30,52	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	6308,66	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

- Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado,	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe



tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	utilizar armadura pasiva
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-3,26	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-126,06	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	9,79	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción	
		CUMPLE			
Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-135,82	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión	
		CUMPLE			

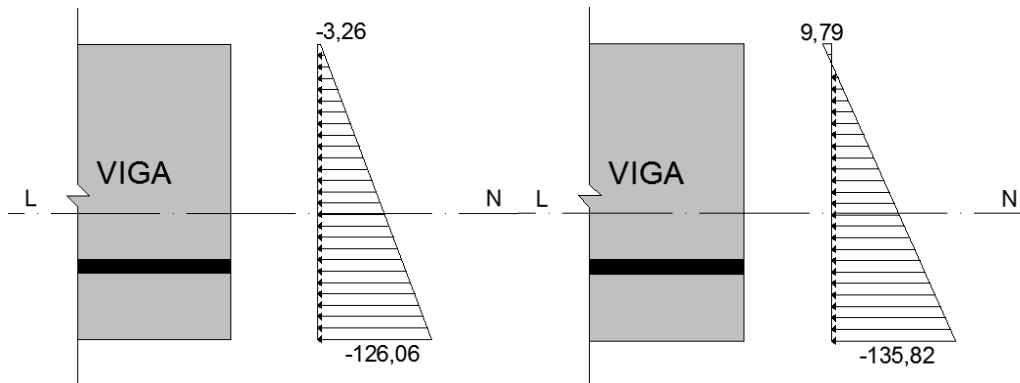


Figura 62: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<i>Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.</i>				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	80,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	40,88	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,83		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	178,40	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	180,88	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	14049,00	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	6300,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo cargas de servicio permanentes en el tiempo		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e



Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos Clase U		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos Clase T		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-93,34	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-28,64	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		

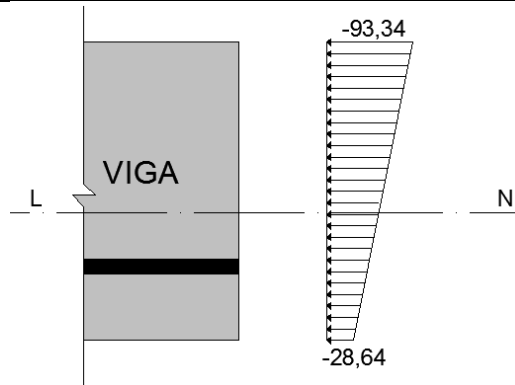


Figura 63: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	0,75	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,58	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	38189,71	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	809,52	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	1955,52	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	38189,71	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	



	Carga Adicional	$W_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	13042,24	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	6521,12	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-64,38	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (viga)	$f_b$	-24,81	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-10	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-0,51	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

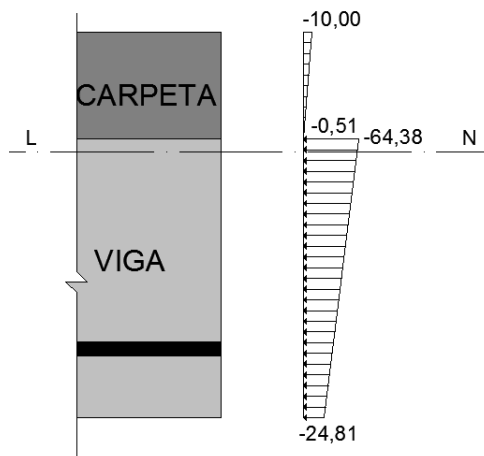


Figura 64: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,80		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08,
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	14,78	cm	





Cuantía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00112		Apartado 18.7.2.
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,05383		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,05		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15434,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	61200,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	9775,86	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	0,57	cm	
Momento Nominal	$M_n$	1417,41	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	497,11	kg/m	
Momento Último	$M_u$	559,25	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño = $M_u/0,9$	$M_d$	621,39	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		

<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	9,51	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	1030,11	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	1373,48	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	$c$	0,71	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,05958		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

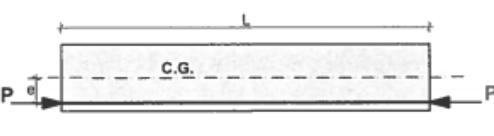
<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Altura del elemento pretensado	$h$	13,00	cm	
	$h/2$	6,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		



Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	715,84	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	47,42	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	1800,37	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

Diseño a Cortante Horizontal				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_p$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	715,84	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	954,45	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a $5\text{kg/cm}^2$	$V_{nh0}$	1463,47	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

- Paso 8: Diseño por Deflexiones.

Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	7676,10	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	$\text{kg/cm}^2$	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	$\text{kg/cm}^2$	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	1723,90	$\text{cm}^4$	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	10305,30	$\text{cm}^4$	
	$e$	2,35	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	9,19	cm	



Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_a$	0,45	cm	$\Delta\uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_b$	-0,06	cm	$\Delta\downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta\uparrow_1$	0,39	cm	$\Delta\uparrow_1 = \Delta\uparrow_a - \Delta\downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta\uparrow_c$	0,69	cm	$\Delta\uparrow_c = \Delta\uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta\downarrow_d$	-0,33	cm	$\Delta\downarrow_d = \Delta\downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta\uparrow_2$	0,37	cm	$\Delta\uparrow_2 = \Delta\uparrow_c - \Delta\downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,03	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional}L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,05	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
<i>Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]</i>				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	0,99	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-0,15	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-0,75	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic'}$	-0,08	cm	$\Delta\downarrow_{adic'} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,05	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-0,04	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	0,83	cm	L/360
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

<b>Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga</b>			
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Momento Último	$M_u$	62,14	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm



Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0036	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0113	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0080	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,57	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	389,59	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,16	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	
Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm

Por lo tanto la sección diseñada es:

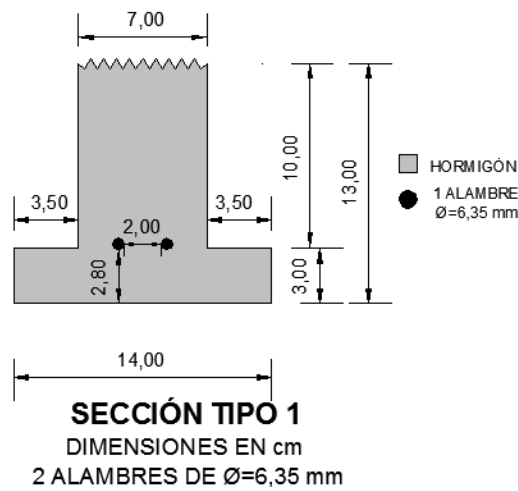


Figura 65: Sección Transversal Viga de L=2,40 m

### A1.3.- Viga de luz $L$ igual a 4,20 m.

- *Paso 1:* Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

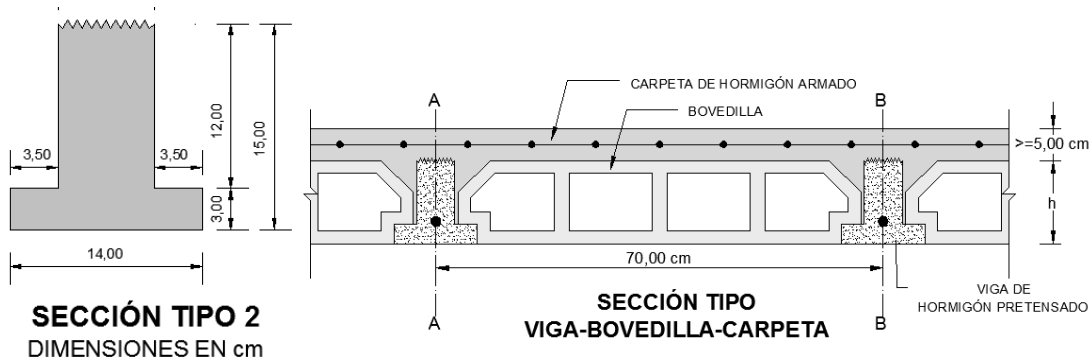


Figura 66: Sección Transversal inicial Viga de L=4,20 m.

- *Paso 2:* Selección del acero de preesfuerzo.



Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	2		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	0,63	cm <sup>2</sup>	
Recubrimiento libre de los alambres de preesfuerzo	$r_{libre}$	2,80	cm	Cumple lo establecido en la Tabla 20.6.1.3.3. del ACI 318-S-14
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	3,12	cm	

- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	350,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	7,08		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	126,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	2614,50	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	6,50	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	24360,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	4,56	cm	
Volumen	$V$	52920,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,17	cm	



Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	8,50	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	6,50	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	307,59	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	402,23	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	30,24	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2 / 8$	$M_D$	6667,92	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	3,38	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	4,21	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	130,21	cm <sup>2</sup>	

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	%HR	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	699,85	23,71%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	311,18	10,55%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1294,44	43,86%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	5,37%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	16,51%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	2951,41	100,00%	

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	8234,00	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	10048,59	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	% $f_{pi}$	6,60	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	% $f_p$	29,37	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	6364,62	kg	$P_e = f_{pe} A_p$



▪ Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado, tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe utilizar armadura pasiva
	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	3,52	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-118,01	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	25,20	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
	Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-134,59	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión

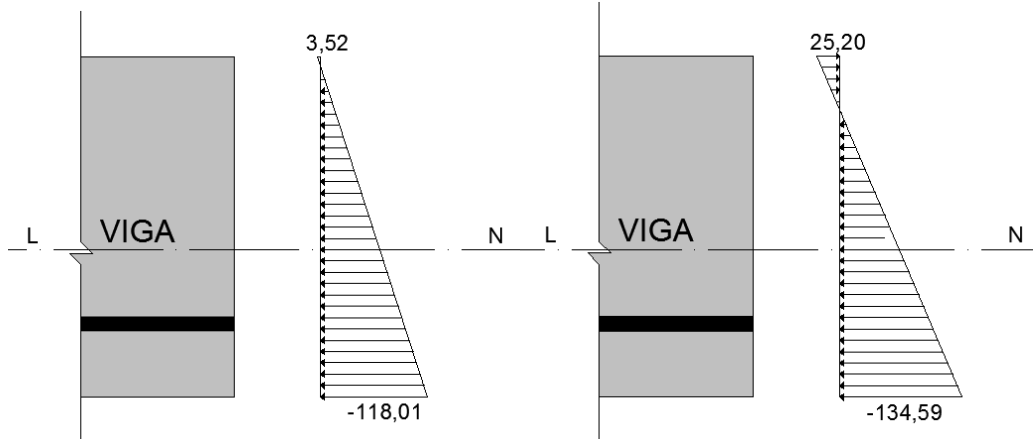


Figura 67: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	80,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	44,11	kg/m	



Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,83		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	183,01	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	184,11	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	28248,26	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	12348,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-134,18	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	13,47	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
		CUMPLE CLASE U		

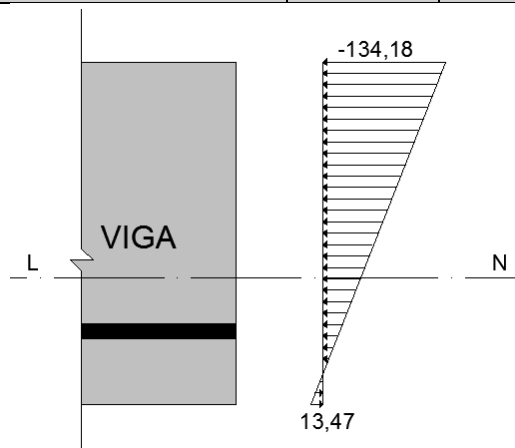


Figura 68: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	1,05	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	





ala a cada lado del alma	Valor adoptado		0,32	m	lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,58	m	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	16617,94	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	977,25	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	2373,45	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	16617,94	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	25562,79	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	12781,39	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		157,50	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		37,42	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		59,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-90,62	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (viga)	$f_b$	22,01	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
Esfuerzos en la Losa			CUMPLE CLASE U		
	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-16,16	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-2,31	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

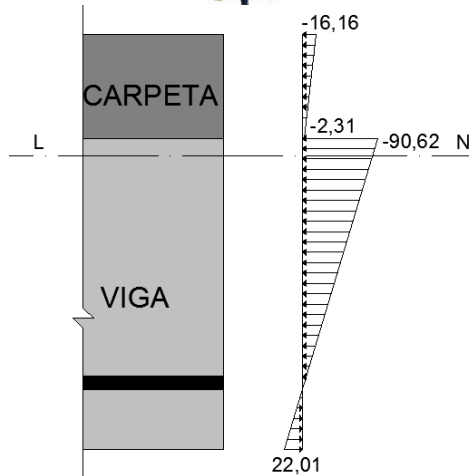


Figura 69: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,80		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	16,88	cm	
Cuántía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00092		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,04432		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,04		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15434,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	71400,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	9775,86	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	0,57	cm	
Momento Nominal	$M_n$	1622,70	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	505,02	kg/m	
Momento Último	$M_u$	1130,90	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño = $M_u/0,9$	$M_d$	1256,56	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		

<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	11,02	cm	



Momento de Fisuración	$M_{cr}$	1216,61	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	1622,15	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	c	0,71	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,06847		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

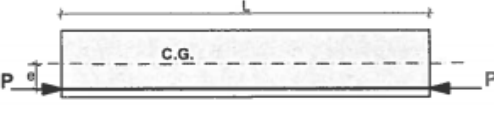
<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Altura del elemento pretensado	$h$	15,00	cm	
	$h/2$	7,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	1054,16	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	78,12	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	2056,13	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

<b>Diseño a Cortante Horizontal</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	1054,56	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	1405,55	kg	



Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1671,37	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

▪ Paso 8: Diseño por Deflexiones.

Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	7690,31	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	282495,13	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	2614,50	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	13844,61	cm <sup>4</sup>	
	$e$	3,38	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	11,05	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta \uparrow_a$	0,84	cm	$\Delta \uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta \downarrow_b$	-0,18	cm	$\Delta \downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta \uparrow_1$	0,66	cm	$\Delta \uparrow_1 = \Delta \uparrow_a - \Delta \downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta \uparrow_c$	1,18	cm	$\Delta \uparrow_c = \Delta \uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta \downarrow_d$	-0,85	cm	$\Delta \downarrow_d = \Delta \downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta \uparrow_2$	0,33	cm	$\Delta \uparrow_2 = \Delta \uparrow_c - \Delta \downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta \downarrow_{adic}$	-0,07	cm	$\Delta \downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional} L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta \downarrow_L$	-0,15	cm	$\Delta \downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
<b>Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]</b>				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta \uparrow_{aa}$	1,85	cm	$\Delta \uparrow_{aa} = \Delta \uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta \downarrow_{bb}$	-0,43	cm	$\Delta \downarrow_{bb} = \Delta \downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta \uparrow_{22}$	-1,95	cm	$\Delta \uparrow_{22} = \Delta \uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta \downarrow_{adic'}$	-0,22	cm	$\Delta \downarrow_{adic'} = \Delta \downarrow_{adic} * factor$

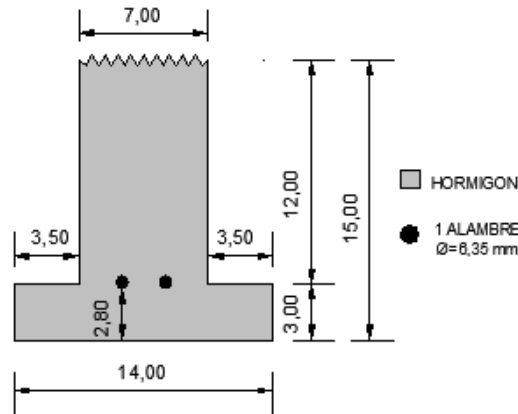


Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,15	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-0,90	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	1,17	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento Último	$M_u$	259,65	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm
Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0036	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0113	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0070	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,57	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	448,55	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,58	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	
Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm

Por lo tanto la sección diseñada es:



**SECCIÓN TIPO 2**  
DIMENSIONES EN cm  
2 ALAMBRES DE  $\varnothing=6,35$  mm

Figura 70: Sección Transversal Viga de L=4,20 m.

**A1.3.- Viga de luz L igual a 4,80 m.**

- Paso 1: Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

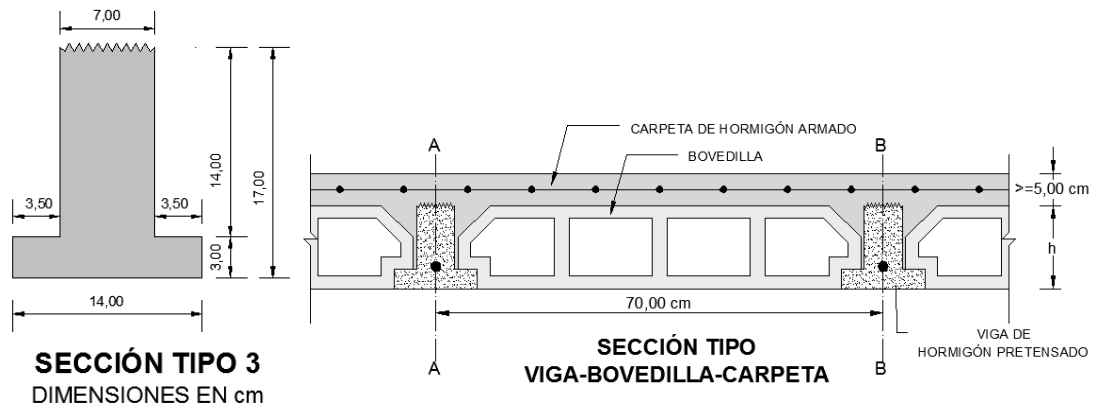


Figura 71: Sección Transversal inicial Viga de L=4,80 m.

- Paso 2: Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	4		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	1,17	cm <sup>2</sup>	
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	5,00	cm	



- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	400,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	6,62		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	140,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	3756,32	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	7,45	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	29760,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	5,18	cm	
Volumen	$V$	67200,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,26	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	9,55	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	7,45	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	393,33	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	504,20	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	33,60	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2/8$	$M_D$	9676,80	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	2,45	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	8,42	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	148,42	cm <sup>2</sup>	



- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	$\%HR$	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	1039,05	27,55%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	310,52	8,23%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1776,64	47,10%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	4,20%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	12,92%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3772,15	100,00%	Se asume 3520 kg/cm <sup>2</sup> (PCI)

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	16467,99	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9480,00	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	$\%f_{pi}$	9,21	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	$\%f_p$	37,13	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	12008,97	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

- Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado,	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe





tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	utilizar armadura pasiva
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-39,65	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-178,46	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f^t_e$	-15,05	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-197,65	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión

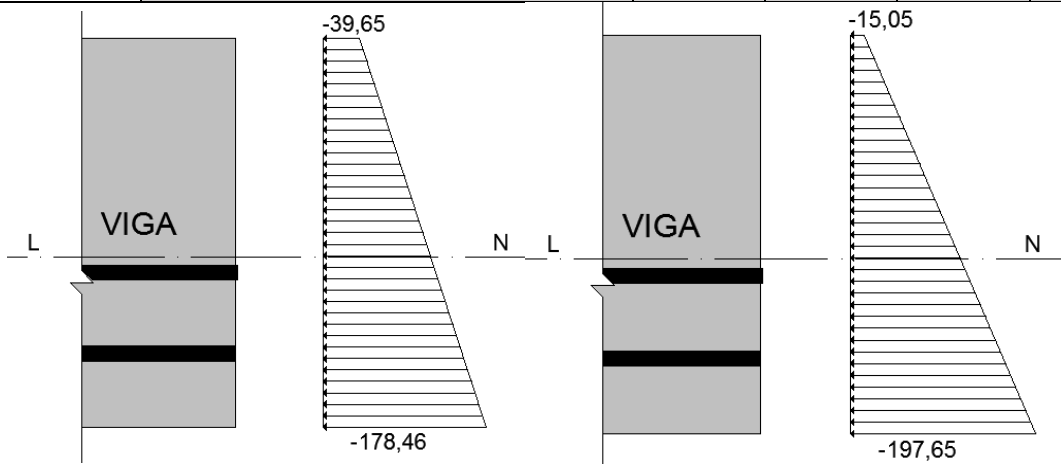


Figura 72: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<i>Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.</i>				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	75,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	56,00	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,77		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	200,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	192,50	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	40320,00	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	15120,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$



Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-176,53	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-14,98	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
		CUMPLE		

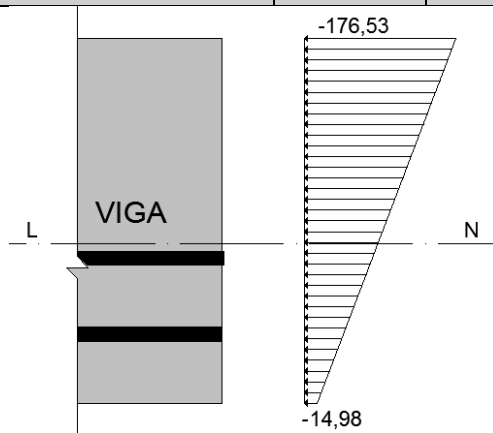


Figura 73: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	1,20	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,54	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	11054,82	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	1151,36	cm <sup>3</sup>	



Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	2684,44	cm <sup>3</sup>	a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	11054,82	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	31231,74	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	15615,87	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-146,40	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-17,45	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-4,24	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

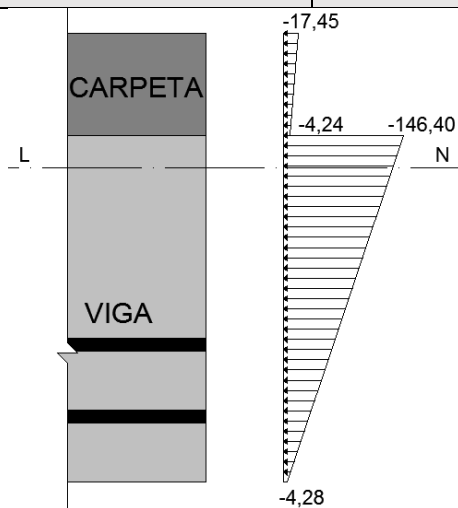


Figura 74: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.



<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,76		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	17,00	cm	
Cuántía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00195		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,08210		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,08		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15367,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	71400,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	19466,84	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	1,06	cm	
Momento Nominal	$M_n$	3206,58	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	523,32	kg/m	
Momento Último	$M_u$	1501,34	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño= $M_u/0,9$	$M_d$	1674,62	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		

<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	10,40	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	2045,37	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	2727,17	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	$c$	1,38	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,03391		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.



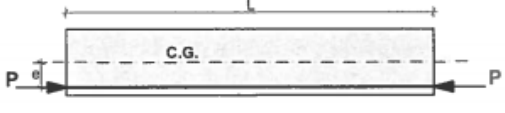
<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Altura del elemento pretensado	$h$	15,00	cm	
	$h/2$	7,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	1209,42	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	104,87	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	3615,40	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

<b>Diseño a Cortante Horizontal</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	1209,42	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	1612,56	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1683,00	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

- **Paso 8: Diseño por Deflexiones.**

<b>Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	14950,92	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	



Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	3756,32	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	17726,81	cm <sup>4</sup>	
	$e$	2,45	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	10,40	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_a$	1,07	cm	$\Delta\uparrow = \frac{PeL^2}{8E_cI_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_b$	-0,24	cm	$\Delta\downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_cI_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta\uparrow_1$	0,84	cm	$\Delta\uparrow_1 = \Delta\uparrow_a - \Delta\downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta\uparrow_c$	1,50	cm	$\Delta\uparrow_c = \Delta\uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta\downarrow_d$	-1,10	cm	$\Delta\downarrow_d = \Delta\downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta\uparrow_2$	0,39	cm	$\Delta\uparrow_2 = \Delta\uparrow_c - \Delta\downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,09	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional}L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,18	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
<i>Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]</i>				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	2,36	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-0,57	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-1,53	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic'}$	-0,27	cm	$\Delta\downarrow_{adic'} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,18	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_cI_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-1,19	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{limite}$	1,33	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{limite}$		CUMPLE		



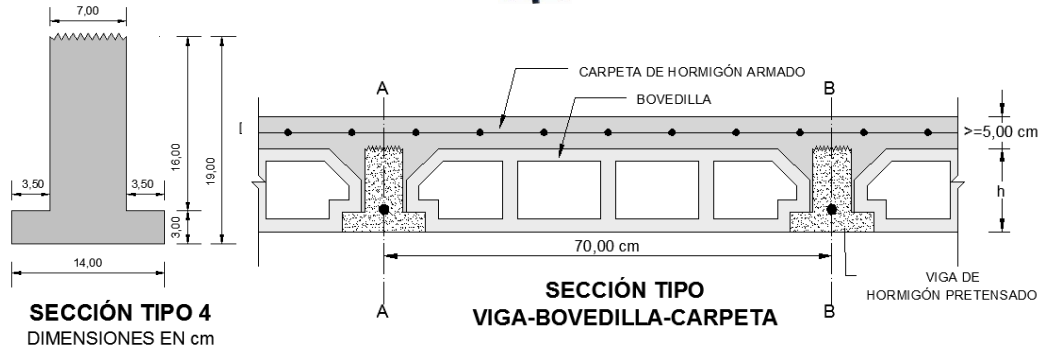


Figura 76: Sección Transversal inicial Viga de L=5,40 m.

- Paso 2: Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	4		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	1,17	cm <sup>2</sup>	
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	5,00	cm	

- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	400,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	6,62		Se calcula con la relación $E_p/E_c$





- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	154,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	5177,56	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	8,41	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	35640,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	5,80	cm	
Volumen	$V$	83160,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,33	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	10,59	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	8,41	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	488,87	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	615,71	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	36,96	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2 / 8$	$M_D$	13471,92	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	3,41	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	8,42	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	162,42	cm <sup>2</sup>	

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.

Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	%HR	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm <sup>2</sup>					
Material	Parámetro	Símbolo	Valor	Porcentaje	Fuente de Ecuación usada
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	1019,16	27,50%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	309,94	8,36%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1731,00	46,71%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	4,28%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	13,15%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3706,03	100,00%	Se asume 3520 kg/cm <sup>2</sup> (PCI)

Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14



Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	16467,99	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9480,00	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	$\%f_{pi}$	9,06	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	$\%f_p$	37,13	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	12008,97	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

▪ Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

Diseño a Flexión					
Resumen	1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico				
	Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado, tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe utilizar armadura pasiva
	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-19,65	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-176,24	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
	Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	7,90	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
	Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-198,12	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión

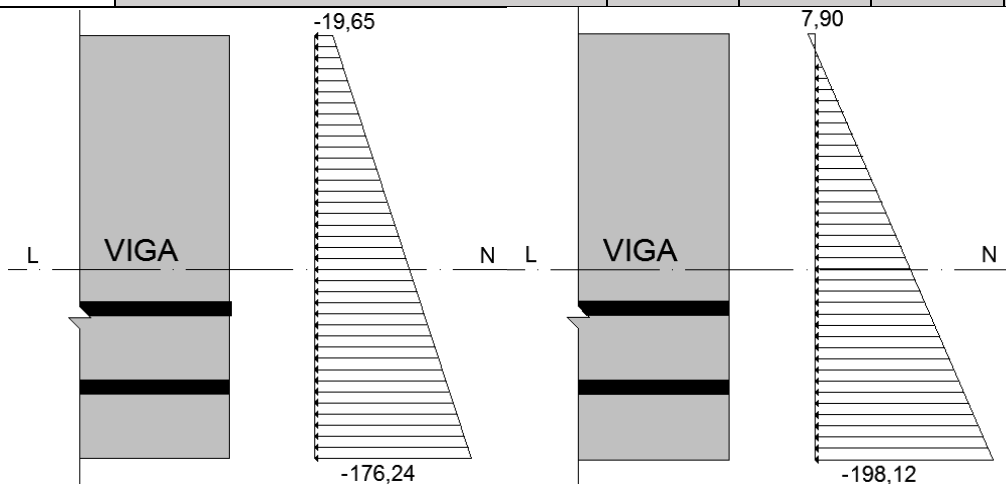


Figura 77: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.



<b>2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
		<i>Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.</i>		
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	70,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	56,00	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,77		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	200,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	189,00	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	51030,00	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	17860,50	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-162,71	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-10,70	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
		CUMPLE		

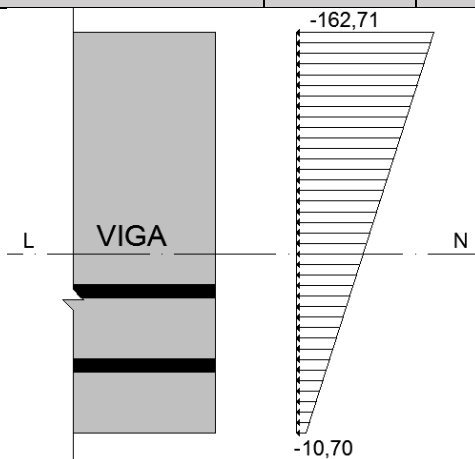


Figura 78: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.



<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	1,35	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,54	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	10066,89	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	1347,03	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	3116,84	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	10066,89	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	
	Momento producido por la carga viva	$M_L$	39527,67	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	19763,83	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-129,93	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (viga)	$f_b$	4,30	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-19,02	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		



	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-5,89	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

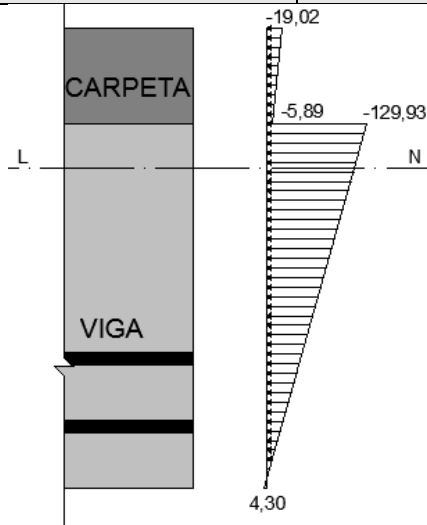


Figura 79: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<b>Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.</b>				
Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,76		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	19,00	cm	
Cuántía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00167		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,07037		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,07		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15367,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	71400,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	19466,84	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	1,06	cm	
Momento Nominal	$M_n$	3206,58	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	523,32	kg/m	
Momento Último	$M_u$	1501,34	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño = $M_u/0,9$	$M_d$	1674,62	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		



<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	11,76	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	2331,31	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	3108,42	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	c	1,38	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,03826		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Altura del elemento pretensado	$h$	15,00	cm	
	$h/2$	7,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	1373,75	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	132,89	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	3537,80	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

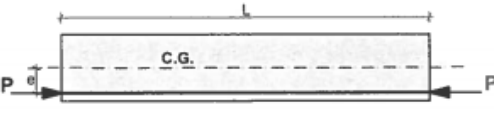


**Diseño a Cortante Horizontal**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	1373,75	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	1831,67	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1881,00	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

▪ Paso 8: Diseño por Deflexiones.

**Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio**

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	14976,13	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	5177,56	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	22280,28	cm <sup>4</sup>	
	$e$	3,41	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	11,62	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta \uparrow_a$	1,37	cm	$\Delta \uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta \downarrow_b$	-0,30	cm	$\Delta \downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta \uparrow_1$	1,07	cm	$\Delta \uparrow_1 = \Delta \uparrow_a - \Delta \downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta \uparrow_c$	1,91	cm	$\Delta \uparrow_c = \Delta \uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta \downarrow_d$	-1,28	cm	$\Delta \downarrow_d = \Delta \downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta \uparrow_2$	0,63	cm	$\Delta \uparrow_2 = \Delta \uparrow_c - \Delta \downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta \downarrow_{adic}$	-0,12	cm	$\Delta \downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional}L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta \downarrow_L$	-0,23	cm	$\Delta \downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$



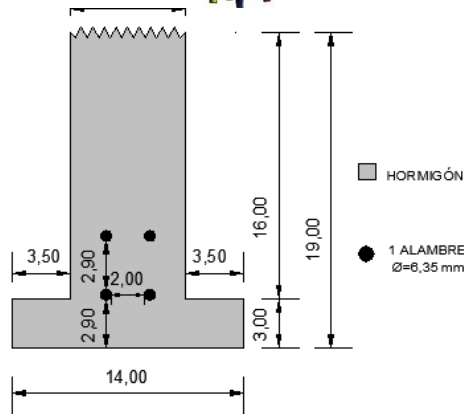
Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	3,02	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-0,73	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-2,94	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,35	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,23	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-1,22	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	1,50	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Momento Último	$M_u$	281,82	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm
Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0038	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0129	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0062	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,38	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	569,39	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,49	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	
Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm

Por lo tanto la sección diseñada es:





**SECCIÓN TIPO 4**  
DIMENSIONES EN cm  
4 ALAMBRES DE  $\varnothing=6,35$  mm

Figura 80: Sección Transversal Viga de L=5,40 m.

**A1.4.- Viga de luz L igual a 6,00 m.**

- Paso 1: Selección de sección transversal de hormigón de la viga.

Se define la sección de hormigón a utilizar, se muestra también la sección viga-bovedilla-carpeta.

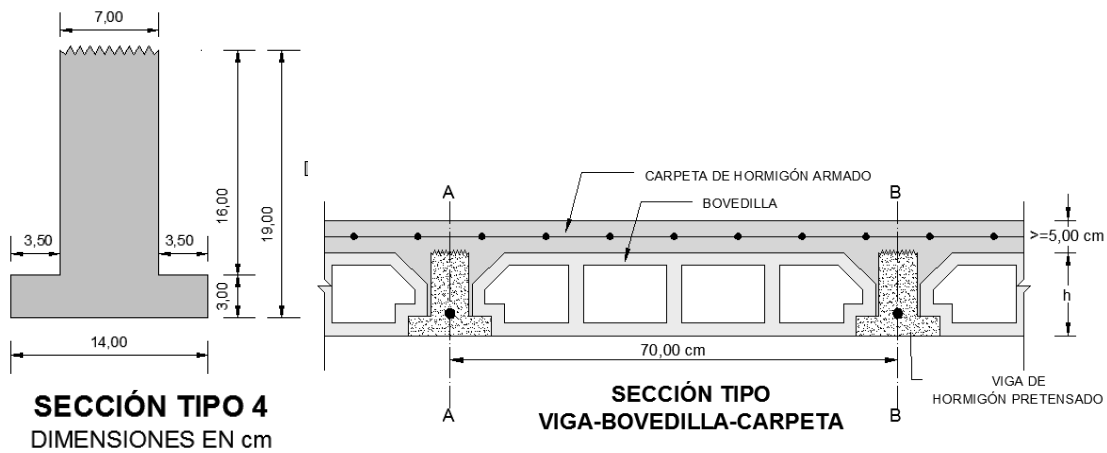


Figura 81: Sección Transversal inicial Viga de L=6,00 m.

- Paso 2: Selección del acero de preesfuerzo.

Características Geométricas del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Número de alambres de preesfuerzo	#	4		
Diámetro nominal del alambre de preesfuerzo	$d_b$	0,635	cm	Tomado de Emcocables
Área de sección transversal de cada alambre de preesfuerzo	$a_p$	0,32	cm <sup>2</sup>	
Área total del acero de preesfuerzo	$A_p$	1,17	cm <sup>2</sup>	
Distancia de los alambres de preesfuerzo respecto al centro de gravedad de la sección transversal de hormigón	$r_{cg}$	5,00	cm	



- Paso 3: Definir las propiedades de los materiales.

Las propiedades de los materiales que se va a utilizar, son las siguientes:

Propiedades del Hormigón				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia al cortar el alambre de preesfuerzo	$f'_{ci}$	300,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a los 28 días	$f'_c$	400,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Tipo de Curado		Húmedo		
Peso específico	$\gamma$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	

Propiedades del Acero de Preesfuerzo				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Resistencia última	$f_{pu}$	16868,11	kg/cm <sup>2</sup>	Tomado de Emcocables
Esfuerzo de fluencia del acero de preesfuerzo	$f_{py}$	14338,84	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo inicial	$f_{pi}$	13000	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de Elasticidad	$E_p$	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Corrimiento total de las cuñas	$v$	6,50	mm	Según la AASHTO puede variar de 3 a 10 mm
Relación Módulos de Elasticidad inicial	$n_i$	7,65		Se calcula con la relación $E_p/E_{ci}$
Relación Módulos de Elasticidad a los 28 días	$n$	6,62		Se calcula con la relación $E_p/E_c$

- Paso 4: Propiedades geométricas y mecánicas de la viga.

Propiedades Geométricas y Mecánicas de la Viga a Diseñar				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Área bruta de la sección de hormigón	$A_c$	154,00	cm <sup>2</sup>	
Inercia bruta de la sección de hormigón	$I_c$	5177,56	cm <sup>4</sup>	
Altura del centro de gravedad medido desde la base de la sección	$y$	8,41	cm	
Sumatoria de superficies sin considerar las caras transversales	$S$	39600,00	cm <sup>2</sup>	
Radio de giro	$r$	5,80	cm	
Volumen	$V$	92400,00	cm <sup>3</sup>	
Relación Volumen/Superficie	$V/S$	2,33	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra superior	$C_t$	10,59	cm	
Distancia desde la Línea Neutra hasta la fibra inferior	$C_b$	8,41	cm	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_t$	488,87	cm <sup>3</sup>	
Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_b$	615,71	cm <sup>3</sup>	
Peso propio	$w_D$	36,96	kg/m	
Momento flector por peso propio= $w_D L^2 / 8$	$M_D$	16632,00	kg-cm	
Excentricidad de los alambres respecto al centro de gravedad	$e$	3,41	cm	
Área de acero transformada en hormigón	$A_{pc}$	8,42	cm <sup>2</sup>	Considerando $n_i$
Área de la sección transformada en hormigón	$A_{Tc}$	162,42	cm <sup>2</sup>	

- Paso 5: Cálculo de Pérdidas del Esfuerzo de Preesfuerzo.



<b>Condiciones adicionales para calcular las Pérdidas de Esfuerzo en el Acero de Preesfuerzo</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Tiempo	$t$	3650	días	Se supone que luego de este tiempo, las pérdidas son despreciables.
Porcentaje de humedad relativa	$\%HR$	80	%	
Longitud de la cama de Pretensar	$L_{cp}$	82	m	

<b>Pérdidas de Esfuerzo de Pretensado calculadas mediante fórmulas en kg/cm<sup>2</sup></b>					
<i>Material</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Fuente de Ecuación usada</i>
Hormigón	Pérdida por el acortamiento elástico instantáneo del hormigón	$\Delta f_{pe}$	1003,25	27,46%	[12]
	Pérdida por la retracción del hormigón	$\Delta f_{cr}$	309,94	8,48%	[8]
	Pérdida por fluencia plástica del hormigón	$\Delta f_{cp}$	1694,32	46,38%	[14]
Acero	Pérdida en el esfuerzo de acero por corrimiento y ajuste de cuñas de anclaje	$\Delta f_{pa}$	158,54	4,34%	[12]
	Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo	$\Delta f_R$	487,40	13,34%	[14]
<b>Pérdida Total</b>		$\Delta f$	3653,44	100,00%	Se asume 3520 kg/cm <sup>2</sup> (PCI)

<b>Esfuerzos y Fuerzas de Pretensado, Iniciales y Efectivas</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Esfuerzo inicial de pretensado	$f_{pi}$	13000,00	kg/cm <sup>2</sup>	Cumple los límites de la Tabla 20.3.2.5.1 del ACI 318 S-14
Fuerza de tensado inicial de acero de preesfuerzo	$P_i$	16467,99	kg	$P_i = f_{pi} A_p$
Esfuerzo efectivo del acero luego de las pérdidas	$f_{pe}$	9480,00	kg/cm <sup>2</sup>	$f_{pe} = f_{pi} - \Delta f$
Porcentaje de pérdidas instantáneas respecto al esfuerzo de pretensado inicial	$\%f_{pi}$	8,94	%	
Porcentaje de pérdidas respecto al esfuerzo de pretensado efectivo	$\%f_p$	37,13	%	
Fuerza de preesfuerzo luego de las pérdidas	$P_e$	12008,97	kg	$P_e = f_{pe} A_p$

- Paso 6: Diseño a Flexión de la Viga.

<b>Diseño a Flexión</b>					
<i>Resumen</i>	<b>1.- Comportamiento al momento de cortar los cables-Estado Elástico</b>				
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Esfuerzos límites en el hormigón inmediatamente después de aplicar la fuerza de pretensado, tomado ACI 318S-14, Sección 24.5.3.1, 24.5.3.2.	Esfuerzo máximo en compresión, no en los extremos del elemento		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en compresión, en los extremos del elemento		210,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Esfuerzo máximo en tracción, no en los extremos del elemento		13,86	kg/cm <sup>2</sup>	Si se supera estos esfuerzos, se debe utilizar armadura pasiva
	Esfuerzo máximo en tracción, en los extremos del elemento		27,71	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en las fibras superiores e inferiores	Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-26,12	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		



Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-171,10	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra superior, en los extremos del elemento	$f_e^t$	7,90	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, en los extremos del elemento	$f_{be}$	-198,12	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		

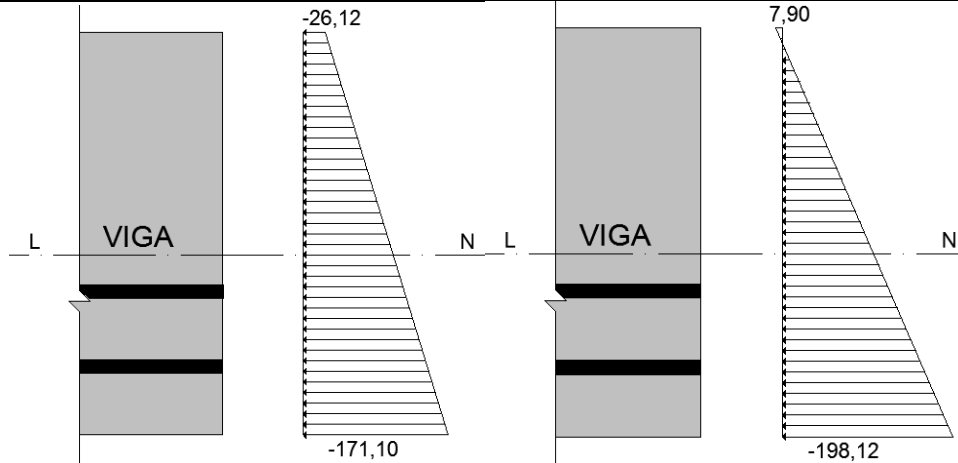


Figura 82: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz) y Esfuerzos en los extremos del elemento. Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

2.-Comportamiento al momento de colocar carga muerta sobre el elemento				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
<i>Al cargar la losa, la viga NO se apuntala.</i>				
Se asume que se carga una losa (bovedillas + carpeta de hormigón armado); el hormigón de las vigas ya alcanzó su valor de diseño y el esfuerzo de pretensado ya sufrió todas las pérdidas, estando claramente del lado de la seguridad.				
Espesor de la losa de hormigón	$h_f$	5,00	cm	Información de la Losa que se va a colocar sobre el elemento.
Ancho colaborante	$b_s$	0,70	m	
Carga viva durante el colado del hormigón (carga de construcción)	$q$	75,00	kg/m <sup>2</sup>	
Carga por bovedilla	$w_{DB}$	3,00	kg/m	
Resistencia del hormigón de la losa a los 28 días	$f'_{cs}$	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad del hormigón de la losa	$E_{cs}$	233928,19	kg/cm <sup>2</sup>	
Relación de módulos de elasticidad del hormigón de la losa y el hormigón del elemento pretensado	$E_{cs}/E_c$	0,77		
Carga muerta de la losa + bovedillas	$w_{DS}$	124,29	kg/m <sup>2</sup>	
Carga total por la losa y carga de construcción	$w_{DS+q}$	139,50	kg/m	
Momento flector adicional debido al peso de la losa	$M_{SD}$	39150,00	kg-cm	$M_{SD} = \frac{1}{8} w_{DS} L^2$
Momento flector adicional debido a cargas de construcción o adicionales	$M_{SL}$	23625,00	kg-cm	$M_{SL} = \frac{1}{8} q L^2$
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T[7], bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14, Apartado 24.5.2.1
Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	



Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
Límite esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzo en la fibra superior, no en los extremos del elemento	$f^t$	-156,67	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
		CUMPLE		
Esfuerzo en la fibra inferior, no en los extremos del elemento	$f_b$	-15,15	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
		CUMPLE		

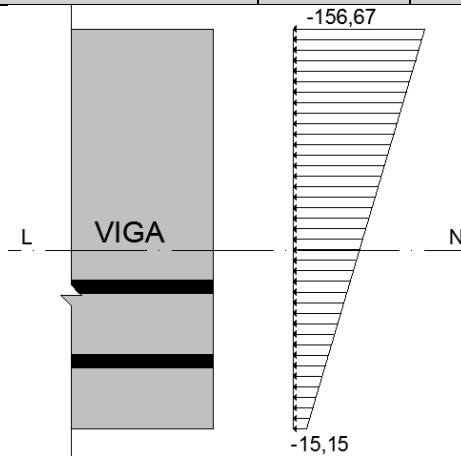


Figura 83: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>3.-Comportamiento bajo cargas de servicio</b>					
	<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Ancho efectivo de la losa usada como ala de la viga T (Ala a ambos lados)	Un cuarto de la luz de la viga	$L/4$	1,50	m	Determinación del ancho efectivo para tomar a la Viga como T. Se usa lo dispuesto en el ACI 318 S-14, Tabla 6.3.2.1.
	Ancho colaborante		0,70	m	
	Ancho del alma + 16 veces el espesor de losa	$b_w + 16h_f$	0,87	m	
	Valor adoptado		0,70	m	
Ancho efectivo sobresaliente del ala a cada lado del alma	Ancho sobresaliente efectivo del ala		0,32	m	
	Ocho veces el espesor de la losa	$8h_f$	0,40	m	
	Mitad de la distancia libre a la siguiente alma		0,32	m	
	Valor adoptado		0,32	m	
Ancho Mayor Viga Compuesta	Ancho efectivo alas a los 2 lados más ancho superior de la viga		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para viga compuesta		0,70	m	
	Valor de ancho adoptado para la sección compuesta, incluye el efecto de la relación $E_{cs}/E_c$		0,54	m	
Módulos resistentes de la viga considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior	$S_c^t$	10066,89	cm <sup>3</sup>	Propiedades geométricas calculadas en base a la sección compuesta.
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior	$S_{cb}$	1347,03	cm <sup>3</sup>	
Módulos resistentes de la losa considerando sección compuesta	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra superior losa	$S_{cs}^t$	3116,84	cm <sup>3</sup>	
	Módulo Resistente de sección, respecto a la fibra inferior losa	$S_{csb}$	10066,89	cm <sup>3</sup>	
	Carga Viva que la losa debe resistir	$w_L$	200	kg/m <sup>2</sup>	
	Carga Adicional	$w_{adicional}$	100	kg/m <sup>2</sup>	



	Momento producido por la carga viva	$M_L$	39527,67	kg-cm	
	Momento producido por la carga adicional	$M_{adicional}$	19763,83	kg-cm	
Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior.	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>cargas de servicio permanentes en el tiempo</i>		180,00	kg/cm <sup>2</sup>	Límites permitidos para los esfuerzos generados en las fibras superior e inferior de la viga. Tomado de ACI 318 S-14 Apartado 24.5.2.1
	Esfuerzo en la fibra extrema en compresión, para elementos Clase U y Clase T, bajo <i>todas las cargas de servicio actuantes en un determinado instante</i>		240,00	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase U</i>		40	kg/cm <sup>2</sup>	
	Límite Esfuerzo máximo de tracción que se produce en la fibra extrema debido a las cargas de servicio para elementos <i>Clase T</i>		64,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Esfuerzos en la Viga	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (viga)	$f^t$	-113,47	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (viga)	$f_b$	0,47	kg/cm <sup>2</sup>	Tracción
			CUMPLE CLASE U		
Esfuerzos en la Losa	Esfuerzo en la Fibra Superior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_s^t$	-23,49	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		
	Esfuerzo en la Fibra Inferior, no en los extremos del elemento (losa)	$f_{bs}$	-7,27	kg/cm <sup>2</sup>	Compresión
			CUMPLE		

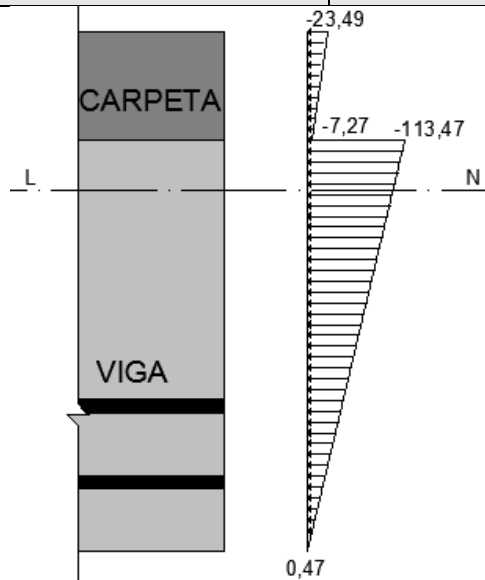


Figura 84: Esfuerzos NO en los extremos del elemento (centro de la luz). Dimensiones: kg/cm<sup>2</sup>.

<b>4.-Diseño a Flexión a Resistencia Última</b>				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Cálculo del esfuerzo nominal a tracción del acero de preesfuerzo.				



Factor que depende de la Resistencia del Hormigón	$\beta_1$	0,76		Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 18.7.2.
Comprobación ACI $f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	$f_{pe} > 0,50 f_{pu}$	CUMPLE		
Factor que toma en cuenta las propiedades del acero de preesfuerzo	$\gamma_p$	0,40		
Altura desde la fibra de compresión extrema hasta el CG de acero de pretensar	$d_p$	19,00	cm	
Cuántía del Acero de Preesfuerzo	$\rho_p$	0,00167		
	$\rho_p (f_{pu} / f'_c)$	0,07037		
$[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')]$ , pero $w = w' = 0, d = 0$		0,07		
Comprobación $[\rho_p (f_{pu} / f'_c) + (d/d_p)(w - w')] \geq 0,17$		0,17		
Esfuerzo Nominal a Tracción del Acero de Preesfuerzo	$f_{ps}$	15367,32	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Análisis a flexión a resistencia última</b>				
Fuerza de Compresión del Patín	$C$	71400,00	kg	
Fuerza Total de Tensión	$T$	19466,84	Kg	
Comprobación Viga Rectangular o Viga T comparando $C$ y $T$	Como $C > T$ , se analiza como VIGA RECTANGULAR			
Altura del bloque rectangular equivalente de esfuerzos del hormigón	$a$	1,06	cm	
Momento Nominal	$M_n$	3206,58	kg-m	
Combinación de Cargas	1,2D+1,6L+0,5S	523,32	kg/m	
Momento Último	$M_u$	1501,34	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Momento de Diseño = $M_u/0,9$	$M_d$	1674,62	kg-m	
Comprobación Flexión a Resistencia Última $M_n \geq M_d$		CUMPLE		

<b>5.-Comprobación de disponer Acero Mínimo requerido en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Excentricidad, tomando a la sección compuesta	$e_c$	11,76	cm	
Momento de Fisuración	$M_{cr}$	2331,31	kg-m	
Capacidad de la sección proporcionada solo por el hormigón	$1,2M_{cr}/0,9$	3108,42	kg-m	
Comprobación $M_n \geq 1,2M_{cr}/0,9$		CUMPLE		
<b>6.-Comprobación de no exceder el valor permitido de Acero Máximo en la sección de diseño.</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>
Distancia de la fibra extrema en compresión a la línea neutra considerando la sección compuesta	$c$	1,38	cm	
Deformación Unitaria en Tracción	$\epsilon_t$	0,03826		
Verificar si $\epsilon_t \geq 0,005$		CUMPLE		

- Paso 7: Diseño a Cortante Vertical y Horizontal.

<b>Diseño a Cortante Vertical-Sección Perpendicular al Eje del Elemento</b>				
<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>	<i>Observación</i>



Altura del elemento pretensado	$h$	15,00	cm	
	$h/2$	7,5		
Condiciones para determinar si se puede utilizar la sección a $h/2$				Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 7.4.3.2.
Reacción en el apoyo en dirección al cortante aplicado introduce compresión en las zonas extremas del elemento		SI		
Las cargas son aplicadas en o cerca de la carga superior del elemento		SI		
Ninguna carga concentrada se aplica entre la cara del apoyo y la ubicación de la sección crítica definida		SI		
Evaluación	Se puede utilizar la sección a $h/2$ desde el extremo, sin embargo, se considera la sección del extremo.			
Cortante Último	$V_u$	1343,20	Kg	Calculado con SAP 2000 V16.
Valor de Momento en la misma sección usada para el cortante último	$M_u$	130,08	kg-m	Calculado con SAP 2000 V16.
Fuerza cortante proporcionada por el hormigón	$V_c$	3537,80	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Apartado 22.5.8 y 22.5.9
Comprobación de $V_c \geq V_u/0,75$		CUMPLE		
Comprobación de requerimiento de acero a cortante	No se requiere, porque la altura del elemento es menor a 25 cm			Disposición tomada del ACI 318S-14, Tabla 9.6.3.1.

Diseño a Cortante Horizontal				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Ancho de la superficie de contacto del elemento prefabricado	$b_v$	18	cm	
Fuerza Cortante Última	$V_u$	1347,20	kg	
Fuerza Cortante Nominal Horizontal requerida	$V_{nh}$	1796,27	kg	
Fuerza Cortante suministrada por rugosidad intencional de amplitud igual o mayor a 6mm y esfuerzo cortante horizontal igual a 5kg/cm <sup>2</sup>	$V_{nh0}$	1881,00	kg	Se aplica lo dispuesto en el ACI 318 S-08, Tabla 16.4.4.2.
Comprobación de si basta solo con la rugosidad intencional $V_{nh0} \geq V_{nh}$	Rugosidad intencional			

- Paso 8: Diseño por Deflexiones.

Diseño por Deflexiones-Se usan las cargas de Servicio				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observación
Fuerza inicial de tensado menos las pérdidas instantáneas (5%-10%)	$P$	14996,28	kg	
Módulo de Elasticidad del Hormigón al cortar los cables	$E_{ci}$	261539,67	kg/cm <sup>2</sup>	Se calcula con la Ecuación 19.2.2.1(b), adoptada del Código ACI 318 S-14.
Módulo de Elasticidad del Hormigón a los 28 días	$E_c$	302000,00	kg/cm <sup>2</sup>	
Inercia del Elemento aislado	$I_c$	5177,56	cm <sup>4</sup>	
Inercia de la Sección Compuesta	$I_{compuesta}$	22573,14	cm <sup>4</sup>	





	$e$	3,41	cm	
Excentricidad de los cables tomando la sección compuesta	$e_c$	11,76	cm	
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente por aceros de refuerzo de pretensado	$\Delta\uparrow_a$	1,70	cm	$\Delta\uparrow = \frac{PeL^2}{8E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_b$	-0,46	cm	$\Delta\downarrow = \frac{5w_D L^4}{384E_{ci}I_c}$
Deflexión hacia calculada al momento de cortar los cables	$\Delta\uparrow_1$	1,24	cm	$\Delta\uparrow_1 = \Delta\uparrow_a - \Delta\downarrow_b$
Deflexión hacia calculada al momento de izar los elementos	$\Delta\uparrow_c$	2,21	cm	$\Delta\uparrow_c = \Delta\uparrow_a * 1,80$
Deflexión al momento de hormigonar la losa superior	$\Delta\downarrow_d$	-1,21	cm	$\Delta\downarrow_d = \Delta\downarrow_b * 1,85$
Deflexión resultante luego de hormigonar la losa	$\Delta\uparrow_2$	0,99	cm	$\Delta\uparrow_2 = \Delta\uparrow_c - \Delta\downarrow_d$
Deflexión instantánea debido a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic}$	-0,17	cm	$\Delta\downarrow_{adic} = \frac{5w_{adicional}L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,35	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
<i>Deflexiones Finales-Método de los Multiplicadores del PCI[8]</i>				
Deflexión hacia arriba por la influencia únicamente de los cables de pretensado	$\Delta\uparrow_{aa}$	3,74	cm	$\Delta\uparrow_{aa} = \Delta\uparrow_a * factor$
Deflexión hacia abajo debida al Peso Propio	$\Delta\downarrow_{bb}$	-1,11	cm	$\Delta\downarrow_{bb} = \Delta\downarrow_b * factor$
Deflexión debida a la losa	$\Delta\uparrow_{22}$	-2,79	cm	$\Delta\uparrow_{22} = \Delta\uparrow_2 * factor$
Deflexión debida a la carga adicional	$\Delta\downarrow_{adic'}$	-0,52	cm	$\Delta\downarrow_{adic'} = \Delta\downarrow_{adic} * factor$
Deflexión instantánea debido a la carga viva	$\Delta\downarrow_L$	-0,35	cm	$\Delta\downarrow_L = \frac{5w_L L^4}{384E_c I_{compuesta}}$
Deflexión final en el centro de la luz	$\Delta\downarrow_{final}$	-1,02	cm	Se obtiene sumando algebraicamente las deflexiones antes halladas.
Uso de la Estructura	Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes			
Límite permisible para deflexión	$\Delta\downarrow_{límite}$	1,67	cm	$L/360$
Comprobación $\Delta\downarrow_{final} \leq \Delta\downarrow_{límite}$		CUMPLE		

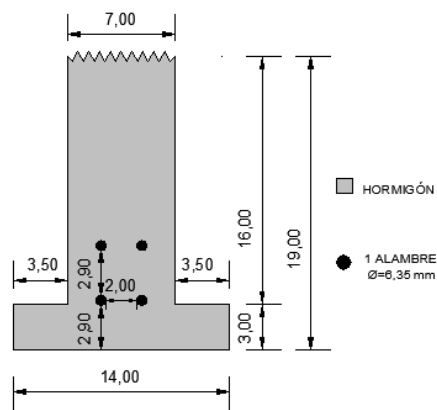
- Paso 9: Diseño a Flexión para capacidad de trabajo en voladizo de la viga.

<b>Diseño a Flexión para Voladizo de la Viga</b>			
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad



Momento Último	$M_u$	281,82	kg-m
Diámetro de varilla	$d_b$	10	mm
Área de Acero a Flexión	$A_s$	0,78	cm <sup>2</sup>
Recubrimiento del Acero	$r$	4	cm
Cuantía Mínima	$\rho_{mín}$	0,0038	
Cuantía Máxima: Viga Simplemente Reforzada	$\rho_{máx}$	0,0129	
Cuantía de acero a Flexión	$\rho$	0,0056	
Comprobación	Viga Simplemente Reforzada		
Altura del Bloque de Compresión equivalente	$a$	1,38	cm
Momento Nominal Reducido	$\phi M_n$	569,39	kg-m
Relación Demanda/Capacidad	$D/C$	0,49	
Comprobación $D/C \leq 1$		Cumple	
Longitud de desarrollo	$l_d$	30,00	cm

Por lo tanto la sección diseñada es:



**SECCIÓN TIPO 4**  
DIMENSIONES EN cm  
4 ALAMBRES DE Ø=6,35 mm

Figura 85: Sección Transversal Viga de L=6,00 m.