

**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Civil**



TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema estructural de piso con acero laminado en frío. Bases para su utilización y cálculo.

Autor: Víctor Miguel Palacios Ruiz

Tutor: Dr. Ing. Santiago Venancio Sánchez Pérez

Santa Clara

Curso 2008- 2009

"Año del 50 Aniversario del triunfo de la revolución."

PENSAMIENTO

“Lo importante es no dejar de hacerse preguntas”.

Albert Einstein.

DEDICATORIA

A mis padres que día a día
me han guiado por el camino
Correcto.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que directa o indirectamente han participado en la realización de este trabajo y quisiera en estas líneas dejar constancia de mi más sincero agradecimiento.

No puedo dejar de mencionar en primer lugar a mis padres y hermanos por todos estos años a mi lado, desde que decidí empezar esta carrera.

A mi tutor, Santiago, de quien surgió la idea inicial de este trabajo y quien me ha encaminado y guiado, día a día, en todo este proceso.

Sería muy injusto si dejara de mencionar a mis tíos, mis abuelos, a Lara que ha sido como un padre para mí, a Adrián mi hermanazo, a Cesar, a Omar, Luís Martines, a Felín, que de una forma u otra también han hecho posible que llegara al final.

Por último, y no por esto es menos importante quisiera agradecer todos mis amigos y compañeros de carrera, de los que me llevo tantos y tan buenos recuerdos.

A todos, gracias.

RESUMEN

Las ventajas que presenta el empleo del acero galvanizado en la elaboración de perfiles laminados en frío, que posteriormente son utilizados como elementos estructurales en diferentes tipos de construcciones, ha motivado la realización de este trabajo. En el que se realizó un estudio de la utilización de dichos perfiles en la conformación de los elementos que servirán como solución estructural en cubiertas y entrepisos de edificaciones residenciales, comerciales, industriales y de oficinas.

Para ello primeramente se realizó un estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática, lo que posibilita justificar el desarrollo del trabajo.

En una segunda fase se resume toda la base teórica utilizada para el chequeo de los elementos constituyentes de la estructura, basada en las especificaciones de la AISI para el diseño de miembros estructurales de acero laminado en frío. Finalmente se aplicó la metodología de diseño para definir el tipo de elemento a utilizar y las características de la ubicación de estos, en función de del tipo de estructura.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. Marco Teórico.....	8
1.1 Generalidades de la construcción de piso.....	8
1.2 Antecedentes de la utilización de laminados en frío en sistemas de piso. ..	9
1.3 Características del sistema de construcción.....	9
1.4 Descripción de los elementos constituyentes.....	13
1.4.1 Teja trapezoidal.....	13
1.4.2 Losa de hormigón.....	13
1.4.3 Malla electrosoldada.....	14
1.4.4 Viguetas.....	15
1.5 Ventajas del sistema de piso.....	16
1.6.1 Aplicaciones.....	17
1.6.2 Especificaciones técnicas.....	18

1.6.3	Ventajas de la utilización de perfiles laminados en frío.....	21
1.7	Principales fallos que pueden ocurrir en elementos estructurales formados por laminados en frío.....	22
1.8	Conclusiones parciales.....	24
CAPÍTULO II. Chequeo de los estados límite.....		25
2.1	El método de los estados límite.....	25
2.1.1	Estados límite.....	25
2.1.2	Estado límite último.....	26
2.1.3	Estado límite de servicio.....	28
2.2	Chequeo de los elementos resistentes.....	28
2.2.1.	Chequeo de la teja.....	28
2.2.2.	Chequeo de la vigueta.....	30
2.3	Especificaciones para el diseño de miembros estructurales de acero laminado en frío. Método de (LRFD).....	32
2.3.1	Flexión simple.....	32
2.3.2	Cortante simple.....	35
2.4	Determinación del estado límite crítico para cada elemento estructural según la función del sistema de piso.....	36
2.4.1	Definición de las soluciones de terminación para el chequeo en cubiertas.....	36
2.4.2	Definición de las soluciones de terminación para el chequeo de entrepisos.....	38
2.4.3	Resultados del chequeo de los elementos de cubierta.....	39
2.4.4	Resultados del chequeo de los elementos de entrepiso.....	40

2.5	Metodología para la determinación de las sobrecargas de utilización.	40
2.6	Conclusiones parciales.	41
CAPÍTULO III. Dimensionamiento.		42
3.1	Definición de los espaciamientos entre viguetas y tipo de teja utilizar.	42
3.1.1	Definición de los espaciamientos para cubiertas.	43
3.1.2	Definición de los espaciamientos para entrepisos.	44
3.2	Elección de la sección de vigueta a utilizar.	45
3.3	Cálculo de las sobrecargas de utilización.	47
3.3.1	Sobrecargas permisibles en cubiertas.	47
3.3.2	Sobrecargas permisibles en entrepisos.	49
3.4	Ábacos para la utilización de los elementos estructurales.	54
3.5	Conclusiones del capítulo.	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		57
Conclusiones.		57
Recomendaciones		58
Bibliografía		59



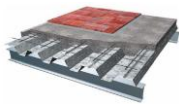
INTRODUCCIÓN

Definición general del tema.

La variedad de soluciones estructurales que pueden darse en un sistema de piso es tan grande que haría interminable un intento de enumerarlas, o aun, de clasificarlas en detalle. En estos sistemas, continuamente, se presentan un gran número de innovaciones, ligadas sobre todo a tecnologías de construcción que tratan de hacer más rápida y más sencilla la fabricación. Una de estas tecnologías es la que utiliza canaletas como vigas, soportando la lámina metálica y sobre esta, se funde una capa de hormigón con malla electrosoldada como refuerzo.

La utilización de acero laminado en frío en estos sistemas representa una solución económica y elegante. El acero conformado en frío es ligero, fácil de manejar, no se pudre, no se agrieta, no se altera y no es inflamable. En la práctica moderna de la construcción de estructuras se emplean, con más frecuencia, los elementos de paredes delgadas, los cuales garantizan alta rigidez y resistencia y tienen, al mismo tiempo, un peso relativamente pequeño. En estos momentos el laminado en frío permite la fabricación de una amplia gama de tipos de secciones transversales, bastando solo para esto, la utilización de herramientas de doblado en frío apropiadas; siempre en el ámbito de los productos estructurales fabricados a partir de chapas finas por el doblado en frío, se distinguen los productos de tipo perfil y los de chapa corrugada.

En Cuba, la entidad encargada de la producción de perfiles laminados en frío es la Empresa de Estructuras Metálicas de las Tunas “Paco Cabrera”; METUNAS.



Dentro de sus productos se encuentran: los tubos redondos y cuadrados, angulares, vigas y tejas de acero galvanizado, estos dos últimos utilizados en el sistema descrito anteriormente.

Las ventajas que presenta el empleo del acero en la elaboración de perfiles laminados en frío, que posteriormente son utilizados como elementos estructurales en diferentes tipos de construcciones, y la existencia de un proveedor local de estos, ha motivado la realización de este trabajo en el cual se pretende: realizar el diseño de un sistema estructural de piso con acero laminado en frío, para edificaciones residenciales, comerciales, oficinas y otros.

Fundamentos metodológicos del trabajo.

Situación Problémica.

Cuba es una isla, ubicada en la faja tropical, por donde pasan la mayoría de los huracanes (perturbaciones ciclónicas, originadas entre los trópicos, en la mal llamada región de las calmas ecuatoriales). Según la clasificación que existe al respecto; los huracanes son ciclones tropicales cuya velocidad del viento sobrepasa los 32m/s (117km/h), pudiendo llegar los más fuertes a 60m/s, 100m/s y más y ante el poder destructivo de estos vientos quedan vulnerables las edificaciones. Aunque, en general, los huracanes dejan a su paso un gran número de edificios y viviendas destruidas total o parcialmente, las mayores afectaciones se producen en las cubiertas, particularmente en las ligeras, por lo que, constantemente son destinados recursos para la reparación o reconstrucción de las mismas, que causan grandes pérdidas a la economía del país. Este problema nos motiva a la búsqueda de soluciones más resistentes y duraderas ante los embates de los huracanes y que, además, agilicen el proceso constructivo.

Problema de estudio.

Estudio de los estados límite, últimos y de servicio de los elementos estructurales que conformarán la solución de cubierta y entrepiso en edificaciones de hasta dos



o más niveles, así como, el arreglo de sus elementos constitutivos, sus dimensiones y características más esenciales.

Interrogante.

¿Se podrá establecer un tipo de sección para los elementos estructurales, así como un espaciamiento en función de las luces y las cargas, tanto en cubiertas como en entresijos?

Objeto de estudio.

En correspondencia con lo planteado con anterioridad, queda definido el planteamiento del problema, es decir, el objeto de estudio de la presente investigación consistente en:

Establecer en función de las luces y cargas de cubiertas y entresijos:

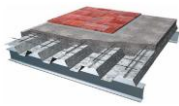
- Espaciamientos entre viguetas.
- Rangos de luces de las viguetas.
- Tipo de teja.
- Tipos de secciones de viguetas.
- Espesor de la losa.

Para ello se define la siguiente **hipótesis**:

En función de las luces y las cargas de los locales a cubrir por cubiertas o entresijos, se puede establecer una guía para la configuración y el dimensionado de los mismos.

Objetivo general.

El objetivo general de la presente investigación consiste en el diseño de un sistema de piso con elementos de acero laminado en frío, utilizando los laminados producidos en la Empresa “Paco Cabrera” de las Tunas.



Objetivos específicos.

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre la utilización de los perfiles laminados en frío en sistemas de piso.
- Realizar un estudio del estado del arte de los perfiles de paredes finas laminados en frío, principales características, propiedades y comportamientos.
- Utilizar las especificaciones de la AISI-LRFD para chequear los estados límites (últimos y de servicio) de los elementos estructurales.
- Establecer, a partir de las características generales de los perfiles y las limitaciones por las solicitaciones a que están sometidos, un rango de luces y espaciamientos de los elementos estructurales.

Tareas científicas a acometer.

- Recopilación bibliográfica preliminar, definición, aprobación del tema y elaboración del plan de trabajo.
- Estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática.
- Redacción de la primera versión del Capítulo I “Marco Teórico”.
- Resumen de las metodologías para el diseño y revisión de los perfiles laminados en frío según las especificaciones de la AISI-LRFD.
- Confección de modelos y realización de ejemplos.
- Redacción de la primera versión del Capítulo II: “Chequeo de los estados límite.”
- Redacción de la primera versión del Capítulo III: “Dimensionamiento”.
- Redacción de la primera versión de las “Conclusiones y recomendaciones del trabajo”.
- Análisis del contexto global del trabajo y redacción definitiva del mismo.

Valor Metodológico de la Investigación.



La realización de ejemplos de diseño y revisión de elementos estructurales laminados en frío según las especificaciones de diseño de la AISI-LRFD.

Valor Práctico Ingenieril de la Investigación.

La confección de modelos numéricos que permitan simular ensayos experimentales sin necesidad de realizar los mismos, lo que implica un ahorro de tiempo y la posibilidad de realizar varios análisis para medir la influencia de diferentes parámetros, sin costo alguno.

Metodología general de investigación.

Para dar cumplimiento a los objetivos trazados en la tesis y tomando en cuenta el volumen de tareas científicas a acometer, fue necesario organizar y estructurar el trabajo en varias etapas, las cuales definen la metodología general de investigación.

La metodología de investigación concebida incluyó:

Definición del problema de estudio.

Ya en los fundamentos conceptuales y metodológicos del trabajo, se explicó la necesidad de la obtención de soluciones de cubiertas y entrepisos más resistentes y duraderos ante los embates de los huracanes y que, además, agilicen el proceso constructivo.

Recopilación bibliográfica.

El estudio de la bibliografía se efectuará en distintas etapas, en correspondencia con las exigencias que va generando el trabajo, por lo que, aunque se ubicó al comienzo de la investigación, el mismo se realizará de forma sistemática hasta el final del trabajo. La búsqueda bibliográfica incluye el empleo de sistemas de búsqueda de avanzada (Internet).

Formación de la base teórica.



Debido a que las normativas de diseño del AISI-LRFD se encuentran en inglés, se hace necesario tener una formación adicional en el idioma.

Estructura del trabajo.

La estructura del trabajo guarda una relación directa con la metodología de investigación establecida y, específicamente, con el desarrollo particular de cada una de las fases de la investigación. La misma se encuentra formada por: una introducción general, tres capítulos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía, así como los anexos necesarios.

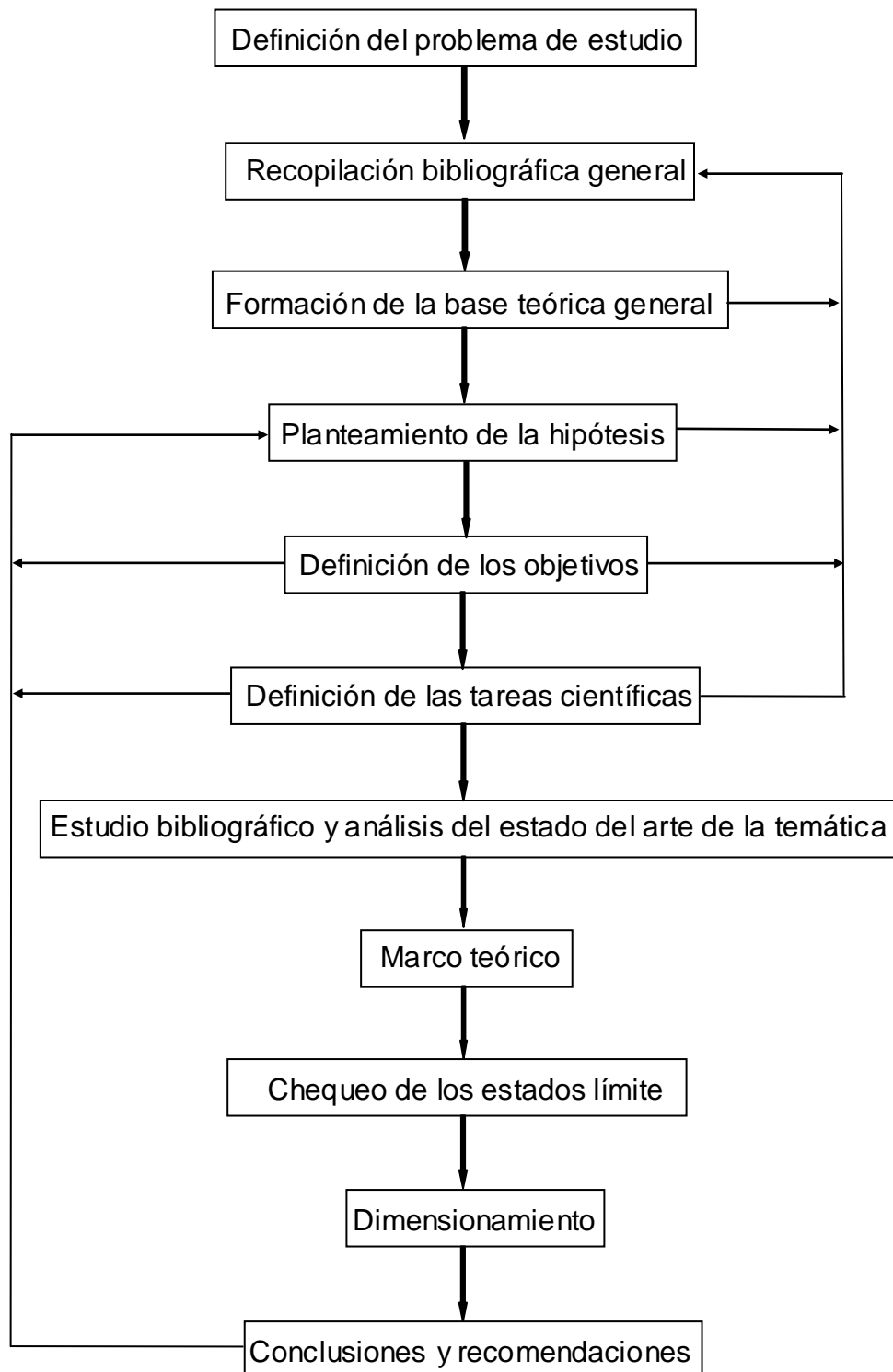
El orden y estructura lógica del trabajo se establece a continuación:

- Introducción.
- Capítulo I: Marco Teórico.
- Capítulo II: Chequeo de estados límite.
- Capítulo III: Dimencionamiento.
- Conclusiones.
- Recomendaciones.
- Bibliografía.

Campo de aplicación.

El campo de aplicación de este trabajo está estrechamente vinculado con el proceso de diseño de elementos estructurales con perfiles de paredes finas laminados en frío, específicamente al diseño de cubiertas y entrepisos.

Esquema metodológico.





CAPÍTULO I. Marco Teórico.

En este capítulo se realizará un estudio bibliográfico y análisis del estado del arte de la temática, lo que posibilita justificar el desarrollo del trabajo. También se definirán los elementos que forman parte de la solución de piso que se propone, así como la forma global de éste. Además se expondrán las principales características de la producción de laminados en frío en nuestro país, y principales fallos que se pueden producir en elementos estructurales conformados a partir de dichos perfiles.

1.1 Generalidades de la construcción de piso.

En la mayoría de las construcciones y principalmente en los edificios, pueden identificarse dos subsistemas estructurales acerca de los cuales pueden tomarse algunas decisiones independientes, relativas a la solución más conveniente, antes de proceder al análisis de la estructura completa. Estos subsistemas son el horizontal o de los sistemas de piso, y el vertical o de los elementos de soporte. A pesar de esta subdivisión, es importante tener en mente que el sistema estructural de la construcción es una sola unidad y que la interacción entre los diversos subsistemas no es en general despreciable.

Casi toda construcción requiere pisos con superficie de apoyo superior horizontal y con superficie inferior que no debe diferir mucho de la horizontal. La función estructural de un sistema de piso es transmitir las cargas verticales hacia los apoyos que a su vez las bajan hasta la cimentación. Es casi siempre necesario que cumpla además la función de conectar los elementos verticales y distribuir



entre ellos las cargas horizontales, para lo cual debe formar un diafragma con alta rigidez en su plano. Por ser los de piso sistemas planos, las cargas verticales introducen momentos flexionantes importantes, lo que hace críticos los problemas de flechas y vibraciones; de manera que el espesor y las características que definen la rigidez del sistema de piso están regidas generalmente por el cumplimiento de los estados límites de servicio (Meil Piralla, nov-1986).

1.2 Antecedentes de la utilización de laminados en frío en sistemas de piso.

En Inglaterra, la introducción en 1784 de molinos de rolado de lámina, realizado por Henry Cort, condujo a la primera aplicación estructural del acero formado en frío: láminas corrugadas de acero calibre ligero para techar o cubrir construcciones (Bautista Cepeda, Ricardo). La utilización de láminas metálicas en la construcción de entresijos se remonta a los años 20 (Dallaine, 1971; citado en Melchor, dic-2008). En dichas construcciones la lámina metálica regularmente constituía el principal componente estructural. La adición de una cubierta de hormigón trajo consigo no sólo aumentar la resistencia estructural, sino que también sirvió a los propósitos de protección contra el fuego, como una manera de nivelar la superficie del piso y como una forma de distribuir las cargas más uniformemente (Chen, 2003; citado en Melchor, dic- 2008).

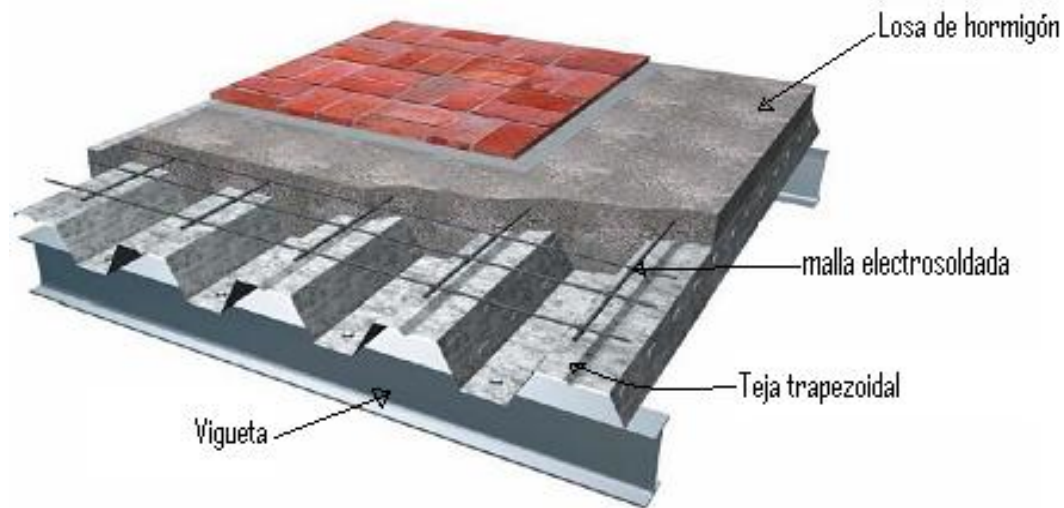
1.3 Características del sistema de construcción.

El sistema está compuesto de canaletas CF como vigas soportando la teja metálica galvanizada y sobre ésta se funde una capa de hormigón con un espesor mínimo de 6cm, debiéndose utilizar acero de temperatura en la losa. De forma general los componentes del sistema son:

- Teja trapezoidal
- Losa de Hormigón
- Malla electrosoldada



➤ Vigüeta



Espaciamiento entre vigüetas.

El espaciamiento entre vigüetas (L_1), dependerá de la resistencia de las tejas ante las cargas a que estarán sometidas, se ajustará como valor mínimo 0.6 m, tomando como referencia el sistema de canaleta y aluzinc que utiliza espaciamientos mínimos de 60 cm.



Fig. 1. 2 Sistema de canaleta y aluzinc.



Luces de las viguetas.

Las luces entre viguetas (L_2), tomaran valores fijos, se asumirá como valor mínimo 3 m y máximo de 6.5 m, para ser consecuente con las dimensiones de diseño de los locales.

Condiciones de apoyo.

Tomando en cuenta el espaciamiento mínimo propuesto y las dimensiones máximas de fabricación, la losa puede sustentarse sobre tres o más apoyos, por tanto se considera la losa articulada en los apoyos externos y continúa en los internos.

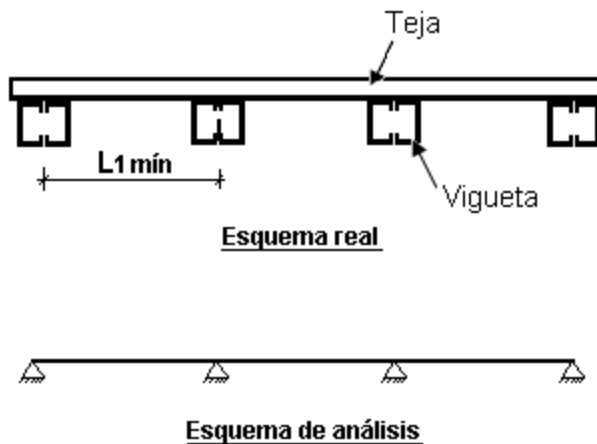


Fig. 1. 3 Condiciones de apoyo de la teja.

Los cálculos se realizarán considerando la teja sustentada sobre cuatro apoyos.

En el caso de las viguetas se asume la condición articulada-simplemente apoyada. Ya que ésta se apoyará sobre el cerramiento, sin la utilización de soldaduras u otro tipo de anclaje.

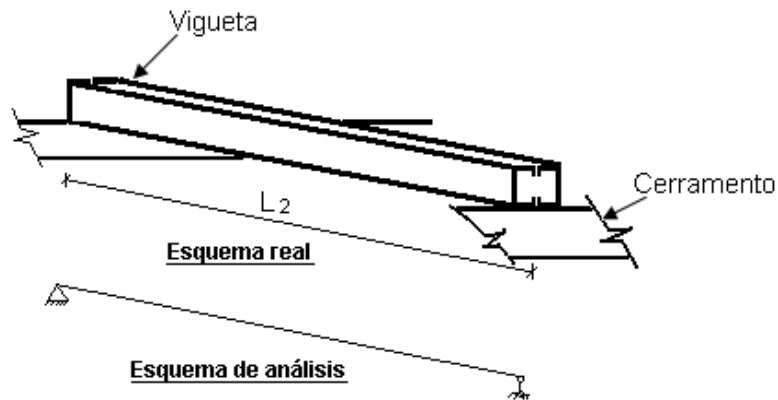


Fig. 1. 4 Condición de apoyo de la vigueta.

Apuntalamientos.

En los sistemas de construcción compuesta, en los que se pretende inicialmente que algún elemento prefabricado soporte inicialmente todo el piso, el cual adquiere su resistencia final y trabajo en forma integral sólo después del fraguado del concreto vaciado en sitio. El elemento prefabricado debe diseñarse para soportar el peso propio de todo el piso más las cargas de construcción. Debido a que en un sistema de piso el peso propio representa una parte importante de la carga total, esta condición de diseño resulta muy crítica y hace que el elemento en cuestión resulte muy robusto o que se requiera un apuntalamiento provisional. El éxito de los sistemas de este tipo se funda en el grado en que se logre resolver este aspecto sin afectar el costo ni la rapidez de construcción (Meil Piralla, nov-1986).

Tomando como base el planteamiento anterior, la estructura del sistema se conformará de tal forma que no requiera apuntalamiento, agilizándose el proceso constructivo.



1.4 Descripción de los elementos constituyentes.

1.4.1 Teja trapezoidal.

Denominación y características geométricas.

Durante el proceso constructivo sirve como encofrado permanente o para conformar una plataforma segura de trabajo y elimina la necesidad de armar y remover los encofrados temporales comúnmente utilizados para el hormigonado de la losa.

Altura de la greca (h_L): 40 mm.

Paso entre grecas (B_s): 250 mm.

Ancho de la greca (C_s): 30 mm.

Ancho del valle (B_I): 150 mm.

Espesor (e): los espesores de la teja varían de 0.6 a 1.0 mm.

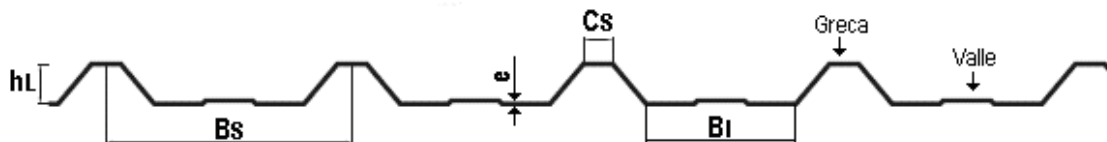


Fig. 1.5 Geometría de la teja trapezoidal.

1.4.2 Losa de hormigón.

El recubrimiento mínimo de concreto por encima de la parte superior de la lámina de acero, h_c , debe ser de 5 cm. Cuando se coloque refuerzo negativo o simplemente para la malla de acero de repartición que se coloque, el recubrimiento mínimo de concreto por encima del acero de refuerzo debe ser de 1.9 cm., pero se recomiendan valores mínimos de 2.0 a 2.5 cm. (ASESCO).

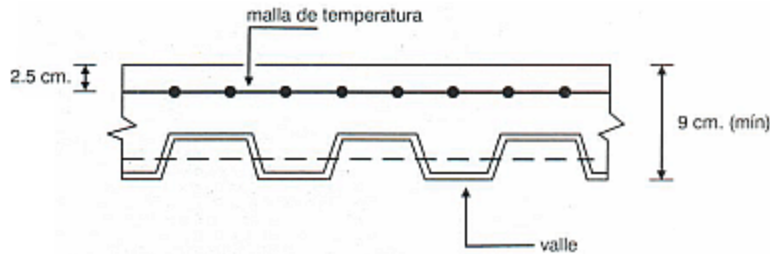


Fig. 1. 6 *Espesor mínimo de la losa.*

Considerando las dimensiones mínimas propuestas por ASESICO, el espesor del hormigón por encima de la greca será como mínimo de 6cm para cubiertas debido a que en cubiertas la carga de uso es pequeña y utilizar mayores espesores de hormigón solo sería para incrementar el peso sobre las viguetas, limitando para estas, la utilización de secciones con peraltos mínimos. No siendo así para los entresijos donde las cargas son mayores, en estos se utilizará 8 cm como espesor de hormigón, aunque se está incrementando el peso de la estructura, una vez el hormigón una vez endurecido va a aportar a la estabilidad y resistencia de la losa.

El hormigón tendrá la función de nivelar la superficie del piso y distribuir las cargas más uniformemente.

Otras topologías utilizan espesores de hormigón de 6 a 12 cm por encima de la cresta de la lámina.

La resistencia mínima a la compresión especificada para el concreto, f_c , será de 210 kg/cm (3000 psi). No se permite el uso de aditivos o acelerantes que contengan sales clorhídricas ya que éstos pueden producir corrosión sobre la teja de acero. (ASESCO).

1.4.3 Malla electrosoldada.

La malla de acero de refuerzo que se recomienda colocar en el sistema tiene el propósito fundamental de absorber los efectos de la retracción de fraguado del concreto y de los cambios térmicos que ocurran en el sistema.

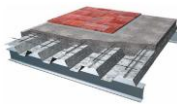


Fig. 1. 7 Malla electrosoldada.



Fig. 1. 8 Disposición de la malla en la losa

La malla ha demostrado ser eficiente en el control de la grietas en especial si se mantiene cercana a la superficie superior de la losa. Por otro lado se ha determinado que esta malla de acero tiene un efecto benéfico en las losas, consistentes en un incremento en la capacidad de carga de la misma, con respecto a una losa sin la malla de refuerzo (Manual técnico de metaldeck).

1.4.4 Viguetas.

Denominación y características geométricas.

La soportería metálica o purlins está previsto mediante la utilización de vigas, conformadas con perfiles CF, para conformar las viguetas se unen dos de estos perfiles por los labios. Estos purlins se apoyan sobre las vigas de cerramiento.

Las dimensiones de las canales CF están definidas por:

H = Altura total de la sección transversal de un perfil.

B = Ancho total de la sección transversal de un perfil.

C = Altura total del rigidizador de un perfil.

r = Radio de curvatura en los dobleces del perfil.

t = Espesor del perfil.

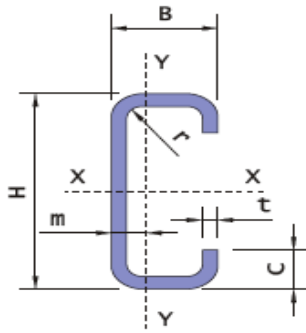


Fig. 1. 9 Sección de canal CF

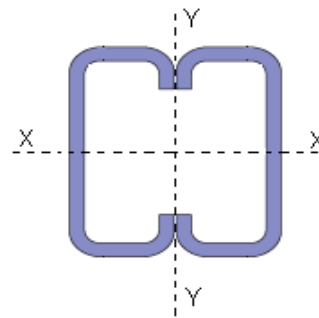


Fig. 1. 10 Sección de la vigüeta conformada

1.5 Ventajas del sistema de piso.

Las principales ventajas de este sistema se podrían resumir como:

- Periodos de construcción reducidos. Permite una mayor simplicidad y rapidez en la construcción, ya que la rigidez y el peso reducido de la teja facilitan su transporte, almacenamiento e instalación.
- Ideal para edificios en altura, en donde es posible avanzar con el montaje de la estructura sin necesidad de hormigonar forjados, solamente disponiendo la chapa nervada fijada a las vigas metálicas, que incluso aporta una adecuada capacidad de arriostramiento a efectos horizontales, tanto en la etapa de ejecución como en la de servicio.
- La chapa extendida, premontada y debidamente sujeta, resulta ser una plataforma segura de trabajo, para facilitar el movimiento de las personas y para el acopio de los materiales.
- No necesitar la colocación de apuntalamientos o cimbras para soportar el peso del hormigón antes del endurecimiento del mismo, lo que simplifica mucho la ejecución de la obra, permitiendo ejecuciones muy rápidas.
- En el caso de pisos a una determinada altura importante, por ejemplo por encima de 5 m, al no necesitar apuntalamiento ni cimbras resulta muy



adecuado para no tener que montar castilletes o varios niveles de apuntalamiento, simplificando y abaratando la ejecución.

- Necesita menos construcción in situ, ya que los perfiles de acero se fabrican bajo condiciones controladas, lo que permite alcanzar tolerancias más estrictas y establecer procedimiento de calidad.
- Permite ahorrar hasta un 30% de hormigón, gracias al perfil ondulado y profundo de la chapa de acero. Esta reducción en el peso propio de la losa produce una reducción significativa de la carga que soporta la estructura, dando lugar a una construcción más ligera que un edificio tradicional de hormigón.

1.6 Introducción a los conformados en frío producidos en Cuba.

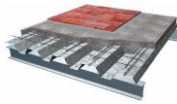
En la provincia de Las Tunas se encuentra situada la Empresa de Estructuras Metálicas “Paco Cabrera”, con denominación comercial METUNAS, empresa de capital nacional, dedicada a la producción de estructuras, grúas, sistemas modulares y perfiles conformados en frío, sus producciones poseen una alta demanda dentro del amplio espectro industrial cubano. La constante renovación hace que METUNAS garantice la calidad de sus fabricados mediante un equipo técnico y medios de ejecución altamente calificados.

Inaugurada en el año 1980 esta planta ha estado presente en la construcción de las principales inversiones desarrolladas en el país durante este período. El taller de perfiles conformados en frío cuenta con una capacidad instalada de 80 000 ton de producción al año. (Catálogo, Sistema de cubierta METUNAS).

1.6.1 Aplicaciones.

Los perfiles conformados en frío tienen un sinnúmero de aplicaciones entre las que podríamos mencionar:

- Barreras de protección en autopistas y carreteras.
- Muros de contención en los desmontes de autopistas.



- Naves industriales.
- Sistemas de estructuras planas y espaciales para edificaciones.
- Tabiquería enchapada para compartimentación de inmuebles.
- Marquetería.
- Sistemas de estanterías para almacenes.
- Transportadores.
- Contenedores.
- Construcción de vehículos de carga.
- Andamios.
- Carcasas metálicas, ligeras e integrales (casas de cura de tabaco).
- Sistemas modulares para casetas multiusos.

1.6.2 Especificaciones técnicas.

Materiales.

Los perfiles conformados en frío se fabrican con acero de baja y alta resistencia según la norma ASTM A570-85, grado 30 y grado 50. Los de baja resistencia con tensiones de fluencia $F_y = 30 \text{ Ksi}$ (207 Mpa) y de rotura $F_u = 49 \text{ Ksi}$ (338 Mpa) y los de alta con $F_y = 50 \text{ Ksi}$ (348 Mpa) y $F_u = 65 \text{ Ksi}$ (455 Mpa). Las bobinas, laminadas o flejes, pueden ser roladas en frío o en caliente. Bajo pedidos y en condiciones especiales de aseguramiento de materia prima, se pueden fabricar además en los siguientes tipos de aceros:

- Aceros de baja aleación laminados en caliente o en frío. Ofrecen inconfundibles ventajas en cuanto a dureza y resistencia a la corrosión atmosférica. Se utilizan para disminuir considerablemente el peso y reducen el costo final del producto.



- Aceros inoxidables laminados en caliente o en frío. Ofrecen una excelente resistencia a la corrosión en casi todos los ambientes y combinaciones de propiedades no fáciles de encontrar en otros materiales.
- Aceros galvanizados. Es el revestimiento más común y de más bajo costo, aplicado generalmente al acero de bajo contenido en carbono. La capa de zinc ofrece una resistencia excelente a la corrosión atmosférica donde no exista azufre u otros productos químicos.

En el caso de los paneles grecados (ondulados o trapezoidales) se utiliza acero galvanizado que puede ser prelacado con una amplia gama de colores, o simplemente unido al zinc formando el material conocido como Aluzinc (45% - Zinc y 55% - Aluminio) o Galvalume, que también puede ser policolor.

El perfilado en frío de una chapa de acero genera unos forjados en las zonas de los dobleces y sus proximidades, que se traducen en un incremento del límite elástico y de la carga de rotura y en una disminución de la ductilidad del material.

El incremento del límite elástico con relación al del producto plano de base puede determinarse por la fórmula siguiente:

$$E = 180 \times n \times e / A \text{ (válida para } 2 \text{ mm} \leq e \leq 5 \text{ mm)}$$

Donde:

E = incremento del Límite Elástico (kg/mm)

n = número de dobleces del perfil

e = espesor del perfil (mm)

A = área de la sección transversal del perfil (mm)

Fabricación.

La planta cuenta con cinco líneas de producción completamente automatizadas:

- Línea de corte longitudinal de bobinas de acero.
- Línea de fabricación de perfiles cerrados huecos.



- Línea de fabricación de angulares.
- Línea de fabricación de vigas U y C.
- Línea de fabricación de shell deck.

La línea de corte posee una cizalla circular que puede cortar bobinas de hasta 45 kg/mm con ancho y peso máximos de 1300 mm y 16 toneladas respectivamente, y espesores entre 2 y 7 mm. Las bobinas son seccionadas de acuerdo al programa de perfiles a fabricar hasta un ancho mínimo de 32 mm.

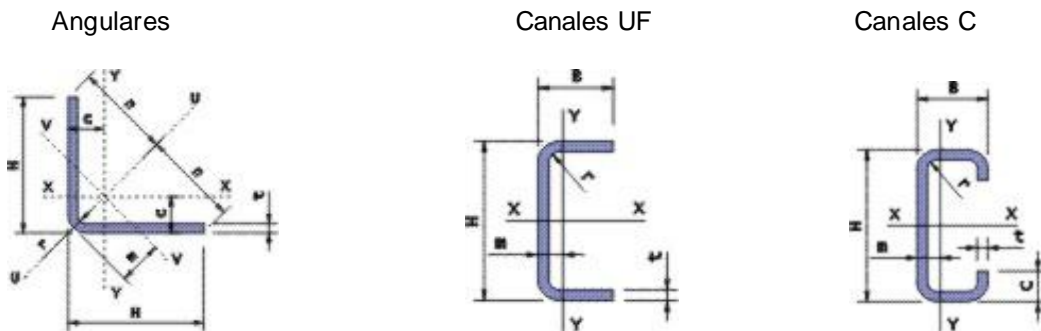
El principio de las líneas de fabricación de los perfiles se basa en flejes metálicos que pasan a través de un tren de conformación que le va dando la forma geométrica al perfil. En el caso de los perfiles cerrados, seguido al conformado, se someten a un proceso de soldadura por alta frecuencia, finalmente se pasan por un tren de rodillos calibradores que le dan los parámetros finales.

En el caso de los tubos, angulares y canales, el proceso de corte es por fusión y en el caso del shell deck es mediante cizallamiento.

Todos los perfiles se suministran debidamente embalados y preservados con longitudes entre 3 y 12 m. En el caso de las tejas la longitud mínima es de 2 m.

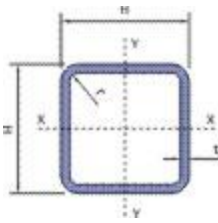
Diseño

Las secciones que produce METUNAS son:

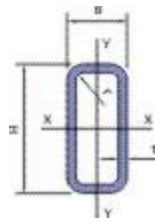




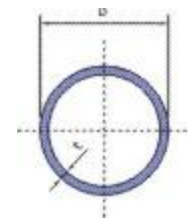
Tubo Cuadrado



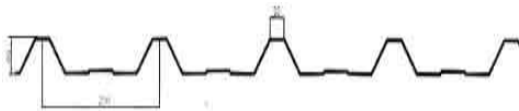
Tubo Rectangular



Tubo Redondo



Teja Trapezoidal



Teja Ondulada

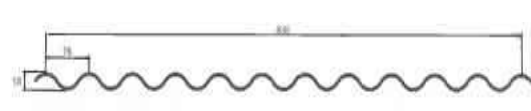


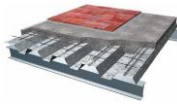
Fig. 1. 11 Secciones de perfiles laminados en frío.

Basados en las especificaciones de diseño de la norma AISI-86, para miembros estructurales conformados en frío, han sido calculadas las tablas que aparecen en el catálogo de los laminados producidos por METUNAS.

1.6.3 Ventajas de la utilización de perfiles laminados en frío.

Entre las ventajas más importantes del empleo de los perfiles de láminas delgadas están, la economía, el poco peso, la rapidez de construcción, y la posibilidad de prefabricación. En comparación con otros materiales se puede destacar que:

- Una tonelada de perfil por lo general cubre más área de proyecto que una tonelada de perfil caliente.
- Los elementos de acero galvanizado pesan mucho menos que los componentes de ladrillo y hormigón; en consecuencia, se pueden reducir los cimientos y se concede una gran libertad de diseño a las estructuras.
- Una ventaja importante de estos perfiles es que se logran secciones esbeltas con espesores finos que garantizan características mecánicas resistentes favorables con un mínimo consumo de acero.



1.7 Principales fallos que pueden ocurrir en elementos estructurales formados por laminados en frío.

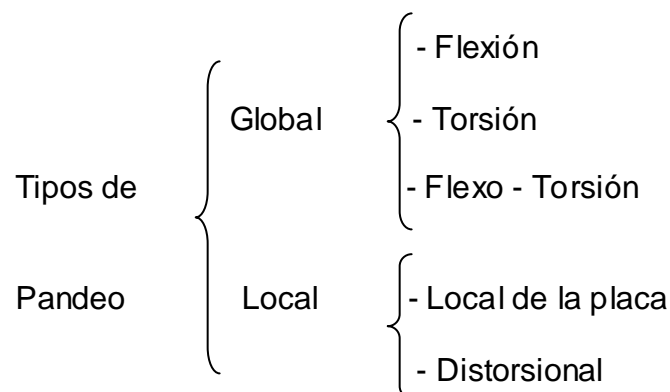
Los perfiles de chapas dobladas merecen gran atención y su comportamiento se diferencia fundamentalmente de los perfiles laminados en caliente en la forma de tratar el fenómeno de la estabilidad estructural. En este caso se pueden dividir en dos partes:

- Estabilidad global del elemento estructural.
- Estabilidad local de las paredes del perfil.

En cuanto a la estabilidad global, no solo se debe tener en cuenta el fenómeno de pandeo por flexión para el caso de las columnas y el pandeo por flexo-torsión en las vigas sino que se debe considerar también el pandeo lateral.

El pandeo local indica la inestabilidad de las paredes comprimidas del perfil. Este fenómeno es análogo al pandeo de placas esbeltas, no indica el estado límite último de la placa y se debe tener en cuenta la reserva de resistencia pos-crítica. No obstante la modificación de su geometría y su rigidez nos conduce a un problema no lineal que no siempre puede ser efectuado con eficiencia a partir de reglas simplificadas del dimensionamiento.

De forma esquemática los principales fallos que se producen en los elementos estructurales conformados a partir de laminados en frío de paredes delgadas son:



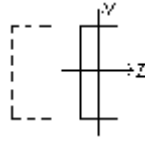
Esq. Fallos que se producen en los elementos estructurales formados por perfiles laminados en frío.



Pandeo por flexión.

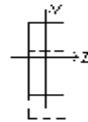
1) por flexión en torno al eje de menor inercia.

$$N_{ky} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l^2}$$



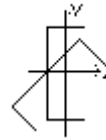
2) por flexión en torno al eje de mayor inercia.

$$N_{kz} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l^2}$$



Pandeo por torsión.

$$N_{\phi} = \frac{A}{I_0} \times \left(G \times J + \frac{\pi^2 \times E \times C_w}{l^2} \right)$$



Pandeo por flexo-torsión.

$$g \left(\begin{matrix} \curvearrowright \\ \curvearrowright \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} \curvearrowright_{xy} - N \\ \curvearrowright_{xz} - N \end{matrix} \right) \left[\frac{I_0}{A} \left(\begin{matrix} \curvearrowright_{\phi} - N \\ \curvearrowright_{\phi} - N \end{matrix} \right) N \left(\begin{matrix} \curvearrowright_{\beta_2} + e_z \beta_1 \\ \curvearrowright_{\beta_2} + e_z \beta_1 \end{matrix} \right) \right] - \left(\begin{matrix} \curvearrowright_{ky} - N \\ \curvearrowright_{\beta_0} - e_z \end{matrix} \right) N^2 - \left(\begin{matrix} \curvearrowright_{kz} - N \\ \curvearrowright_{\beta_0} - e_y \end{matrix} \right) N^2 = 0$$

Pandeo local de la placa



Pandeo Distorsional





1.8 Conclusiones parciales.

- El sistema de piso propuesto se utiliza fundamentalmente en edificios, por sus ventajas se podría extender en cuba su uso en viviendas de dos o tres plantas, para dar soluciones a cubiertas y entrepisos más resistentes a los huracanes, no solo a los fuertes vientos, sino al impacto de objetos.
- La existencia de un proveedor nacional de perfiles laminados en frío, hace factible la incorporación de este sistema de piso en las construcciones cubanas.
- Debido a que las vigas serán conformadas a partir de dos de estos perfiles unidos por los labios rigidizadores, y además estará unida a la teja mediante pernos en toda su longitud, solo se chequeará la flexión y el cortante en las vigas, considerándola arriostrada en toda su longitud por las condiciones antes planteadas.
- Este sistema tiene un costo Inicial elevado, pero indudablemente con el tiempo se pueden apreciar las ventajas que presenta, respecto a las soluciones de cubiertas ligeras, debido que estas, aunque sean muy baratas son muy susceptibles a los vientos de de ciclones e impacto de objetos, haciéndose necesario la sustitución de alguno de sus elementos, o reconstrucción total de la misma.



CAPÍTULO II. Chequeo de los estados límite.

En el presente capítulo se expondrá la base teórica utilizada para el chequeo de los elementos constituyentes de la estructura, basada en las especificaciones para el diseño de miembros estructurales de acero laminado en frío (Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members).

2.1 El método de los estados límite.

El diseño por Estados Límite o sus variantes llamados en algunos reglamentos de diseño por resistencia última o de diseño plástico, constituye un planteamiento más claro de los objetivos que se persiguen al diseñar una estructura y permite identificar más claramente dónde se toman los factores de seguridad y que magnitudes tienen éstos. Además, el desglosar el factor de seguridad total en diversos factores parciales (de carga, de reducción de resistencia y valores nominales o característicos para las variables) proporciona una gama mucho más amplia de factores de seguridad global que permiten lograr un nivel de seguridad cercano al óptimo para una gran variedad de situaciones de diseño (Meil Piralla, nov-1986).

2.1.1 Estados límite.

Se definen como estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada.



Generalmente, los estados límite se clasifican en:

- Estados límite últimos
- Estados límite de servicio

Debe comprobarse que una estructura no supere ninguno de los estados límite anteriormente definidos en cualquiera de las situaciones de proyecto, considerando los valores de cálculo de las acciones, de las características de los materiales y de los datos geométricos.

El procedimiento de comprobación, para un cierto estado límite, consiste en deducir, por una parte, el efecto de las acciones aplicadas a la estructura o a parte de ella y, por otra, la respuesta de la estructura para la situación límite en estudio. El estado límite quedará garantizado si se verifica, con una fiabilidad aceptable, que la respuesta estructural no es inferior que el efecto de las acciones aplicadas.

Para la determinación del efecto de las acciones deben considerarse las acciones de cálculo combinadas, los datos geométricos y el análisis estructural.

Para la determinación de la respuesta estructural deben considerarse los criterios resistentes, teniendo en cuenta los valores de cálculo de los materiales y de los datos geométricos.

2.1.2 Estado límite último.

La denominación de estados límite últimos engloba todos aquellos que producen una puesta fuera de servicio de la estructura, por colapso o rotura de la misma o de una parte de ella.

Como estados límite últimos deben considerarse los debidos a:

- Fallo por deformaciones plásticas excesivas, rotura o pérdida de la estabilidad de la estructura o parte de ella.



- Pérdida del equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como un sólido rígido.
- Fallo por acumulación de deformaciones o fisuración progresiva bajo cargas repetidas.

En la comprobación de los estados límite último que consideran la rotura de una sección o elemento, se debe satisfacer la condición:

$$R_d \geq S_d$$

Donde:

R_d = Valor de cálculo de la respuesta estructural.

S_d = Valor de cálculo del efecto de las acciones.

Para la evaluación del estado límite de equilibrio se debe satisfacer la condición:

$$E_{d, \text{estab}} \geq E_{d, \text{desestab}}$$

Donde:

$E_{d, \text{estab}}$ = Valor de cálculo de los efectos de las acciones estabilizadoras.

$E_{d, \text{desestab}}$ = Valor de cálculo de los efectos de las acciones desestabilizadoras.

El estado límite de fatiga está relacionado con los daños que puede sufrir una estructura como consecuencia de solicitaciones variables repetidas.

En la comprobación del estado límite de fatiga se debe satisfacer la condición:

$$R_F \geq S_F$$

Donde:

R_F = Valor de cálculo de la resistencia a fatiga.

S_F = Valor de cálculo del efecto de las acciones de fatiga.



2.1.3 Estado límite de servicio.

Se incluyen bajo la denominación de estados límite de servicio todas aquellas situaciones de la estructura para las que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, de comodidad, de durabilidad o de aspecto requeridos.

En la comprobación de los estados límite de servicio se debe satisfacer la condición:

$$C_d \geq E_d$$

Donde:

C_d = Valor límite admisible para el estado límite a comprobar (deformaciones, vibraciones, abertura de fisura, etc.).

E_d = Valor de cálculo del efecto de las acciones (tensiones, nivel de vibración, abertura de fisura, etc.).

2.2 Chequeo de los elementos resistentes.

Dada la cantidad de variantes en la elección de los elementos constituyentes del sistema de piso, se hizo necesario confeccionar hojas de cálculo en Excel para facilitar los chequeos.

2.2.1. Chequeo de la teja.

Durante el hormigonado la teja actúa de encofrado, por tanto es el único elemento resistente en la losa. En esta etapa la teja debe soportar su peso propio, el peso del hormigón fresco y las cargas de ejecución. Una vez que el hormigón este endurecido se procederá a la construcción de la solución de terminación de cubierta o entrepiso, en esta otra etapa la lámina deberá soportar su peso, el peso de la losa de hormigón, el peso de la solución de terminación y las cargas de uso. En ambos estados se debe chequear tanto la seguridad



estructural como la aptitud al servicio de la teja. En la siguiente tabla aparecen los parámetros a chequear.

Comprobación de la teja.	
Estados límite últimos (ELU)	Flexión
Estados límite de servicio (ELS)	Deformaciones

Tab. 2. 1 Comprobación de las tejas en los estados límite

Esquema de cálculo definido para la teja.

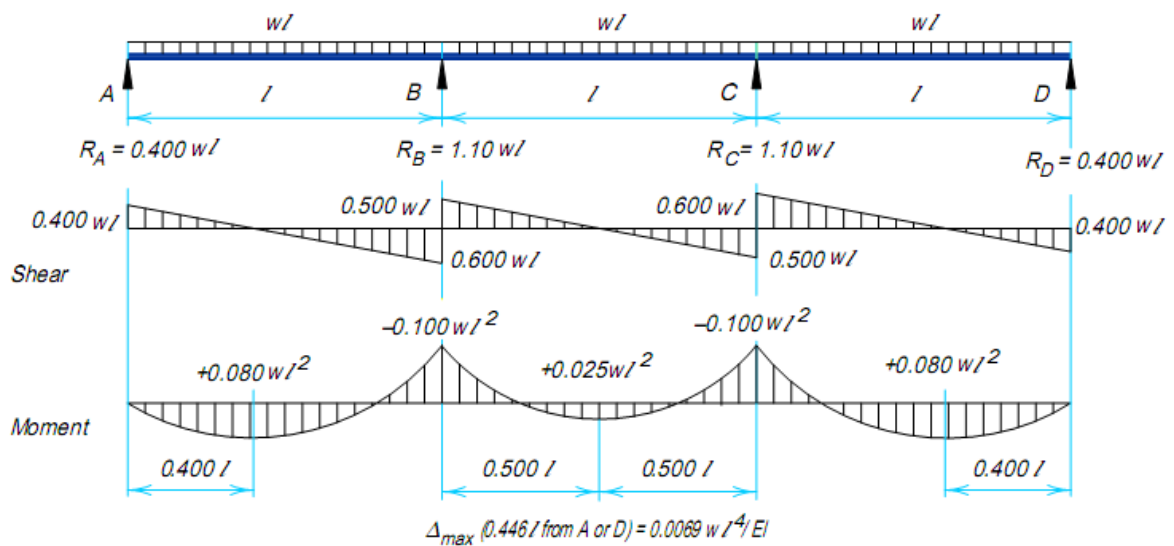


Fig. 2. 1 Coeficientes para el cálculo de las solicitaciones.

El chequeo en esta etapa es muy simple, para ello se debe comprobar que los esfuerzos de sollicitación sean menores que los esfuerzos últimos de la sección.

El cálculo se puede resumir en:



1. Definición de las características geométricas de la sección y Cálculo de las características resistentes a flexión de la lámina.
2. Cálculo del momento de sollicitación y la capacidad resistente a flexión, según el esquema estructural.
3. Comprobación que los esfuerzos de sollicitación sean menores que los esfuerzos últimos de la sección.

$$M_u \leq \phi M_n$$

La comprobación de la lámina se basa en calcular que la flecha del forjado no supere los límites establecidos.

$$\Delta \leq \Delta_{\text{adm}}$$

Las deformaciones máximas de la lámina bajo su propio peso y el del hormigón serán menores o iguales a $L/200$.

2.2.2. Chequeo de la vigueta.

Como se ha especificado en el capítulo I, las viguetas que soportarán la losa estarán compuestas por secciones dobles de perfil C, dispuestos de tal forma que no se requiera apuntalamiento. Las viguetas conformarán el sustento de la losa, por tanto deberán soportar además de su propio peso, el peso de la losa en sus dos estados.

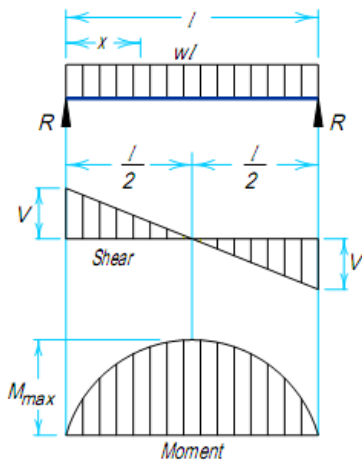
En estas secciones se debe chequearse que se cumplan los estados límites últimos y de servicio que aparecen en la siguiente tabla:



Comprobación de las viguetas	
Estados límite últimos (ELU)	Flexión
	Cortante
Estados límite de servicio (ELS)	Deformaciones

Fig. 2. 2 Comprobación de las viguetas en los estados límite.

Esquema de cálculo de las viguetas.



$$\begin{aligned}
 \text{Total Equiv. Uniform Load} & \dots \dots \dots = wl \\
 R = V & \dots \dots \dots = \frac{wl}{2} \\
 V_x & \dots \dots \dots = w \left(\frac{l}{2} - x \right) \\
 M_{max} \text{ (at center)} & \dots \dots \dots = \frac{wl^2}{8} \\
 M_x & \dots \dots \dots = \frac{wx}{2} (l - x) \\
 \Delta_{max} \text{ (at center)} & \dots \dots \dots = \frac{5wl^4}{384EI} \\
 \Delta_x & \dots \dots \dots = \frac{wx}{24EI} (l^2 - 2lx^2 + x^3)
 \end{aligned}$$

La comprobación de los estados límite últimos en las viguetas se puede resumir en:

1. Definición de las características geométricas de la sección y Cálculo de las características resistentes a flexión y cortante de la vigueta.
2. Cálculo del momento y cortante de sollicitación, según el esquema estructural.
3. Comprobación que los esfuerzos de sollicitación sean menores que los esfuerzos últimos de la sección.



$$M_u \leq \phi_b M_n \quad \text{Y} \quad V_u \leq \phi_v V_n$$

La comprobación de este estado límite parte de chequear que las deformaciones que se produzcan en las viguetas debido a las cargas con sus valores normativas no excedan a las deformaciones máximas permisibles.

$$\Delta \leq \Delta_{\text{perm}}$$

En el caso de las viguetas la flecha permisible dependerá del tipo de estructura de la que forme parte:

Para cubiertas $\Delta_{\text{perm}} = \frac{L_2}{180}$

Para entrepisos $\Delta_{\text{perm}} = \frac{L_2}{240}$

2.3 Especificaciones para el diseño de miembros estructurales de acero laminado en frío. Método de (LRFD).

2.3.1 Flexión simple.

La fuerza de flexión nominal, M_n , será calculada también en la base de iniciación de la fluencia en la sección efectiva (Procedimiento I) o en la base de la capacidad de reserva inelástica (Procedimiento II) como se aplica.

Para la sección con enrijecedores o alas a compresión parcialmente rígidas

$$\phi_b = 0.95(\text{LRFD})$$

Para secciones con alas en compresión no enrijecidas.

$$\phi_b = 0.90(\text{LRFD})$$

(a) Procedimiento I-Basado en la iniciación de la fluencia.

Momento efectivo de fluencia basado en la fuerza de la sección, M_n , será determinado como sigue:



$$M_n = S_e \times F_y$$

Donde

S_e = Módulo de sección elástica de la sección efectiva calculada con la compresión extrema o la tensión de la fibra hacia f_y .

(b) Procedimiento II – basado en la capacidad de reserva inelástica.

La reserva de flexión de la capacidad elástica puede ser usada como la siguiente condición:

- (1) El miembro no está sujeto a torsión o a lateral, de torsión, o de flexo-torsión.
- (2) El efecto de los formados en frío no incluye la determinación del punto de rendimiento F_y .
- (3) El radio de la profundidad de la porción en compresión del alma a este espesor no excede λ_1
- (4) La fuerza no excede $0.35F_y$ tiempo del área del alma, ht .
- (5) El ángulo entre cualquier tela y el vertical no excede los 30 grados

La fuerza nominal de flexión, M_n , no será excedida en los $1.25S_eF_y$ determinados de acuerdo al Procedimiento I o que cause un máximo esfuerzo de $C_y e_y$ (no toma límite la deformación máxima de fluencia).

Donde

e_y = deformación de fluencia = F_y/E

E = Módulo de elasticidad

C_y = Factor de esfuerzo de compresión determinado a continuación:

(a) Elementos comprimidos enrijecidos con enrijecedor intermediario



$$c_y = 3 \text{ para } \frac{w}{t} \leq \lambda_1$$

$$c_y = 3 - 2 \left(\frac{w/t - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \text{ para } \lambda_1 < \frac{w}{t} < \lambda_2$$

$$c_y = 1 \text{ para } \frac{w}{t} \geq \lambda_2$$

Donde

$$\lambda_1 = \frac{1.11}{\sqrt{\frac{F_y}{E}}}$$

$$\lambda_2 = \frac{1.28}{\sqrt{\frac{F_y}{E}}}$$

(b) Elementos comprimidos no enrijecidos.

$$c_y = 1$$

(c) Elementos comprimidos con varios enrijecedores y elementos comprimidos con enrijecedor de borde.

$$c_y = 1$$

Cuando se aplica, el diseño de las larguras efectivas será usado para calcular las propiedades de la sección. M_n , será calculado considerando el equilibrio de las tensiones, asumiendo inicialmente una tensión elasto-plástica, la curva de esfuerzo es la misma en tracción como en compresión, asumiendo una pequeña deformación y que la sección plana es reducida al comienzo. Flexión combinada y la inestabilidad del ala será chequeada por provisiones de sección 2.10.4.



2.3.2 Cortante simple.

La resistencia nominal de al cizallamiento, V_n , en cualquier sección se calculará de la siguiente manera:

a) Para $\frac{h}{t} \leq 0.96 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$

$$V_n = 0.60 F_y h t$$

$$\phi_v = 1.0$$

b) Para $0.96 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 1.415 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$

$$V_n = 0.64 t^2 \sqrt{k_v F_y E}$$

$$\phi_v = 0.90$$

c) Para $\frac{h}{t} > 1.415 \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$

$$V_n = \frac{\pi^2 Ek_v t^3}{12 \left(-\mu^2 \right) h} = \frac{0.905 Ek_v t^3}{h}$$

$$\phi_v = 0.90$$

Donde:

V_n = Fuerza cortante nominal de la viga

t = Espesor del ala

h = Altura de la parte plana del ala a lo largo del plano del ala.

K_v = Coeficiente de pandeo a cortante determinado a continuación:

1. para almas no reforzadas, $k_v = 5.34$



2. vigas con rigidizadores transversales en el alma cumpliendo con requerimientos de la sección B6.

Cuando $a/h \leq 1.0$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Cuando $a/h > 1.0$

$$k_v = 5.34 + \frac{4.00}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

Donde:

a = longitud de del panel a cortante para elementos con el alma no reforzadas

= distancia libre entre rigidizadores transversales para elementos con almas reforzadas.

2.4 Determinación del estado límite crítico para cada elemento estructural según la función del sistema de piso.

La determinación del estado crítico para los elementos estructurales permitirá en función de la ecuación de diseño determinar las sobrecargas máximas que resistirá cada elemento bajo las condiciones de sollicitación a que está sometido.

2.4.1 Definición de las soluciones de terminación para el chequeo en cubiertas.

La solución de terminación definida para el chequeo de los elementos de cubierta consta de:

- 1 capa de papel aluminio.



- 3 capas de filtrero asfáltico.

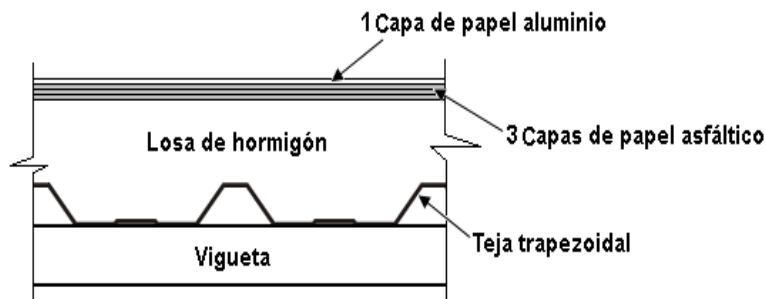


Fig. 2.3 Espesores y características de los materiales de cubierta.

Carga permanente en cubierta:

- 1 capa de papel aluminio = 0.17 kg/m^2
- 3 capas de papel asfáltico = 7.0 kg/m^2
- Losa de hormigón con refuerzo mínimo (8 cm. Prom.) = 184 kg/m^2
- Teja trapezoidal (e = 6 mm) = 5.88 kg/m^2

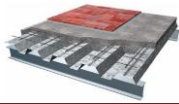
Carga viva en cubiertas:

Los cálculos se realizarán para una cubierta plana con Desagüe libre y accesible al público donde la carga de uso según la NC 284:03 tiene un valor de 2 KN/m^2

En resumen las cargas para el chequeo de los elementos de cubierta son:

Carga permanente	197.05 Kg/m^2
Carga viva	200 kg/m^2

Tab. Cargas para el chequeo en cubierta.



2.4.2 Definición de las soluciones de terminación para el chequeo de entrepisos.

La solución de terminación del entrepiso está compuesta por:

- Losas de granito.
- Mortero de nivelación (2 cm).
- Enrajonado (8 cm).

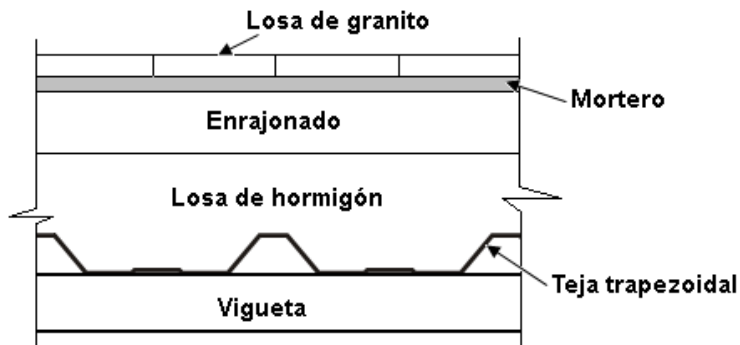


Fig. 2. 4 Espesores y características de los materiales de entrepisos.

Carga permanente en entrepisos:

- Losa de granito (3 cm) = 78 kg/m^2
- Mortero de cemento (2 cm) = 40 kg/m^2
- Enrajonado (8 cm) = 144 kg/m^2
- Losa de hormigón con refuerzo mínimo (10 cm Prom.) = 230 kg/m^2
- Teja trapezoidal (e = 0.7 mm) = 6.87 kg/m^2



Carga viva en entrepisos:

Para los cálculos se realizaron para una oficina donde la carga de uso según la NC 284:03, tiene un valor de 2KN/m^2

En resumen las cargas para el chequeo de los elementos de entrepisos son:

Carga permanente	498.87Kg/m^2
Carga viva	200kg/m^2

Fig. 2. 5 Cargas para el chequeo en cubierta.

2.4.3 Resultados del chequeo de los elementos de cubierta.

Resultados del chequeo de la teja

e (mm)	Momento (kg·cm)		Flecha (cm)		L1 máx. (m)	Condición límite.
	$\varnothing M_n$	M_u	$[\Delta]$	Δ_{act}		
0.6	8737.47	8712	0.62	0.36	1.25	(ELU)

Tab. 2. 2 Chequeo de la teja para cubierta.

Resultados del chequeo de la vigueta

Vigueta canal CF 2CF 160x60x20x3.0

El chequeo se realizo manteniendo los resultados obtenidos anteriormente.

L ₂ (m)	Momento (kg·cm)		Cortante (kg)		Flecha (cm)		Condición límite.
	M_n	M_u	V_n	V_u	$[\Delta]$	Δ_{act}	
4.39	170298	169594	596160	1545.28	2.4	1.7	ELU

Tab. 2. 3 Chequeo de la vigueta para cubierta.



2.4.4 Resultados del chequeo de los elementos de entrepiso.

Resultados del chequeo de la teja

e (mm)	Momento (kg-cm)		Flecha (cm)		L1 máx. (m)	Condición límite.
	$\emptyset M_n$	M_u	$[\Delta]$	Δ_{act}		
0.7	10693.62	10519.34	0.28	0.53	1.07	ELU

Tab. 2. 4 Chequeo de la teja para entrepisos.

Resultados del chequeo de la vigueta

Vigueta canal CF 2CF 160x60x20x3.0

El chequeo se realizo manteniendo los resultados obtenidos anteriormente.

L ₂ (m)	Momento (kg-cm)		Cortante (kg)		Flecha (cm)		Condición límite.
	M_n	M_u	V_n	V_u	$[\Delta]$	Δ_{act}	
3.70	170298.9	169756	596160	1835.2	1.54	1.33	ELU

Tab. 2. 5 chequeo de la vigueta para entrepiso.

2.5 Metodología para la determinación de las sobrecargas de utilización.

Como el estado límite que limita la capacidad resistente de los elementos constituyentes del sistema de piso es el estado límite último, las sobrecargas de utilización se calcularán de la siguiente forma:

Condición de diseño:

$$M_u \leq \phi_b M_n$$

$$M_u = \frac{q^* L^2}{8} \qquad M_n = F_y \cdot W_x$$

Igualando ambos miembros se obtiene: $M_u = \phi_b M_n$

Como la carga actuante factorizada $q^* = 1.2C_D + 1.6C_L$



$$\frac{(2C_D + 1.6C_L) \overline{I}^2}{8} = \phi_b F_y \cdot W_x \quad \text{De esta forma despejando } C_L$$

La sobrecarga de utilización se puede obtener como: $C_L = \frac{5\phi_b F_y W_x}{L^2} - 0.75C_D$

2.6 Conclusiones parciales.

- La condición límite para los elementos estructurales que conforman las soluciones de cubiertas y entresijos está dada por el cumplimiento del estado límite último (ELU).
- Para la configuración del sistema de piso se deben fijar primeramente los espaciamientos entre viguetas y en función de estos calcular las luces y el tipo de vigueta a utilizar. Todo esto es con la intención de no utilizar apuntalamientos en la fase de construcción.
- La sobrecarga máxima de utilización de los elementos resistentes de las soluciones de cubiertas y entresijos depende fundamentalmente de:
 - Momento resistente de la sección.
 - Distancia entre apoyos.
 - Cargas permanentes.



CAPÍTULO III. Dimensionamiento.

En el presente capítulo se aplicó la metodología de diseño para definir el tipo de elemento a utilizar y las características de la ubicación de estos, en función de del tipo de estructura teniendo en cuenta que el estado límite que determina la capacidad resistente de los elementos estructurales es el de resistencia. Resultado obtenido en el capítulo II.

3.1 Definición de los espaciamientos entre viguetas y tipo de teja utilizar.

El primer paso para el dimensionamiento del sistema de piso es determinar los espaciamientos máximos que pueden tener las viguetas para que no ocurra en la lámina el fallo por cualquiera de los estados límites, últimos y de servicio.

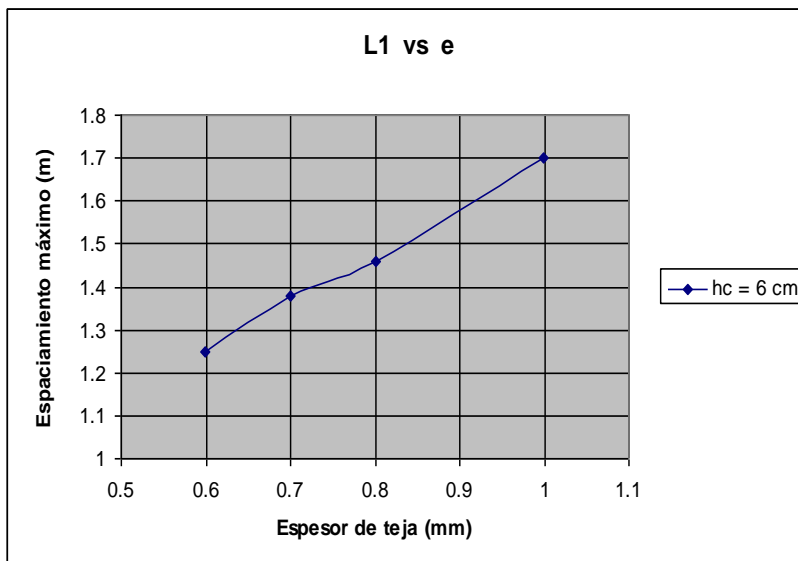
En función del espesor de concreto (h_c) se obtuvo para cada espesor de teja los espaciamientos máximos que éstas resisten, los cuales se exponen en las tablas y gráficos que aparecen a continuación.



3.1.1 Definición de los espaciamientos para cubiertas.

Tab. 3. 1 Máximos valores de espaciamientos (m).

Espesor de teja (mm)	hc (cm)
	6
0.6	1.25
0.7	1.38
0.8	1.46
1.0	1.70



Graf. 3. 1 Espaciamientos máximos en cubiertas para cada espesor de teja.

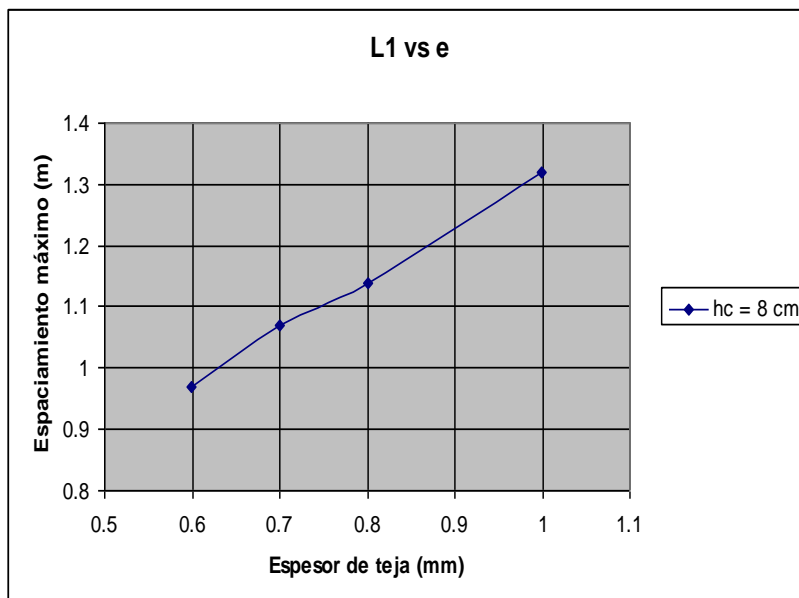
Tomando en consideración los resultados obtenidos se define como espaciamientos entre viguetas valores de 1.0; 1.2 y 1.4 m.



3.1.2 Definición de los espaciamientos para entrepisos.

Tab. 3. 2 Máximos valores de espaciamientos (m).

Espesor de teja (mm)	hc (cm)
	8
0.6	0.97
0.7	1.07
0.8	1.14
1.0	1.32



Graf. 3. 2 Espaciamientos máximos en entrepisos para cada espesor de teja.

De los resultados obtenidos anteriormente se define como espaciamientos entre viguetas para entrepiso: 0.6; 0.8 y 1.0 m.



3.2 Elección de la sección de vigueta a utilizar.

La sección de vigueta a utilizar estará en función de la luz que pueda cubrir, la cual dependerá de:

- Espaciamiento entre vigueta.
- Características resistentes de la vigueta.
- Función del sistema de piso.

Como la condición crítica en el chequeo de la vigueta está dada por el estado límite de resistencia (ELU), mediante algunas transformaciones a la ecuación de diseño se puede encontrar una ecuación para inferir cual o cuales pueden ser las secciones de viguetas a utilizar.

Condición de diseño

$$M_u \leq \phi_b M_n$$
$$M_u = \frac{q^* L^2}{8} \qquad M_n = F_y \cdot W_x$$

En las ecuaciones se puede ver que el único parámetro distintivo de las viguetas es W_x , por tanto despejándolo se puede encontrar el valor requerido de W_x de perfil, en función de la luz de cálculo, el espaciamiento entre viguetas y la disponibilidad del sistema de piso.

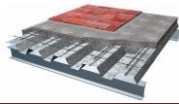
$$M_u = \phi_b M_n$$

$$\frac{q^* L^2}{8} = \phi_b F_y \cdot W_x \qquad \text{Donde: } W_x = \frac{q^* L^2}{8 \phi_b F_y}$$

Para determinar la carga actuante factorizada se procederá de la siguiente forma:

$$q^* = 1.2C_D + 1.6C_L$$

Para los cálculos se tomará una carga de uso de 2 KN/m², el valor de la carga muerta estará en función de la disponibilidad del sistema de piso, en resumen:



$$C_L = 0.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_D = 0.02 \text{ kg/cm}^2 \text{ Para cubiertas}$$

$$C_D = 0.05 \text{ kg/cm}^2 \text{ Para entrepisos}$$

Este valor de carga muerta no tiene implícito el peso de la vigueta, debido a que ésta no está definida hasta ahora. De esta forma se puede inferir que el perfil a elegir debe tener un valor de W_x mayor a la mitad del calculado, teniendo en cuenta que la vigueta se conformará mediante la unión de dos perfiles.

$$W_{x\text{necesario}} > \frac{W_x}{2}$$

El tipo de sección de perfil a utilizar se obtiene para las condiciones críticas, es decir, mayores distancias entre apoyos y mayores espaciamentos, de esta forma se obtendrán la sección mínima de vigueta que garantice que pueda ser utilizada para la mayor luz, definida en el capítulo I.

Viguetas para la solución de cubierta.

Tab. 3. 3 Máximas secciones de vigueta a utilizar para cubiertas

L_1 (m)	L_2 (m)	Vigueta
1.0	6	2CF 200x60x20x4.0
1.2	6	2CF 225x80x25x3.0
1.4	6	2CF 225x80x25x4.0



Vigüetas para la solución de entrepisos.

Tab. 3. 4 Máximas secciones de vigüeta a utilizar para entrepisos.

L_1 (m)	L_2 (m)	Vigüeta
0.6	6	2CF 200x60x20x40
0.8	6	2CF 225x80x25x4.0
1.0	6	2CF 300x80x25x3.0

Además de ésta, se establecerán otras secciones de vigüetas para garantizar una mayor racionalidad a la hora de seleccionar los elementos componentes del sistema de piso.

3.3 Cálculo de las sobrecargas de utilización.

Ya en el capítulo II, se explicó la metodología para la determinación de las sobrecargas admisibles de los elementos estructurales.

3.3.1 Sobrecargas permisibles en cubiertas.

Según la norma NC 284:2003, las cargas de uso en azoteas no excede los 2 KN/m² (200 kg/m²), por tanto, no tendría sentido calcular las sobrecargas de uso de las vigüetas. Para lograr mayor economía en la elección de estas se harán recomendaciones, en función de las luces y espaciamientos que se decidan utilizar.

En la siguiente tabla aparecen las sobrecargas de utilización para los distintos espesores de teja en función de los espaciamientos entre vigüetas.



Tab. 3. 5 Sobrecargas de utilización (kg/m²).

Espesor de Teja (mm)	Espaciamiento (m)		
	1.0	1.2	1.4
0.6	289	186	-
0.7	386	267	-
0.8	452	322	220
1.0	662	496	369

Recomendaciones para la utilización de viguetas en cubiertas.

Tab. 3. 6 Secciones de viguetas recomendadas para cada espaciamiento.

L ₁ (m)	L ₂ (m)	Vigueta
1.0	6	2CF 200x60x20x4.0
	5	2CF 180x60x20x3.0
	4	2CF 160x60x20x2.5
	3	2CF 120x50x20x2.0
1.2	6	2CF 225x80x25x3.0
	5	2CF 200x60x20x3.0
	4	2CF 180x60x20x2.5
	3	2CF 120x50x20x2.5
1.4	6	2CF 225x80x25x4.0
	5	2CF 225x80x25x2.5
	4	2CF 180x60x20x2.5
	3	2CF 120x50x20x3.0



3.3.2 Sobrecargas permisibles en entrepisos.

Tab. 3. 7 Sobrecargas de utilización de las tejas (kg/m²).

Espesor de Teja (mm)	Espaciamiento (m)		
	0.6	0.8	1.0
0.6	504	247	-
0.7	666	369	160
0.8	778	452	226
1.0	1130	715	436

A continuación se calcularán las sobrecargas permisibles para las viguetas de entrepisos.

Tab. 3. 8 Sobrecargas de viguetas para espaciamientos de 0.6 m.

L ₁ (m)	L ₂ máx. (m)	Vigüeta	Sobrecarga (kg/m ²)
0.6	6.5	2CF 200x60x20x4.0	189
	6		292
	5.5		424
	5		597
	4.5		831
	4		1159
	3.5		1637
	3		2373
	4.5	2CF 200x60x20x2.0	268



	4		443
	3.5		697
	3		1089
	4.5	2CF 180x60x20x2.0	181
	4		333
	3.5		553
	3		894
	4	2CF 160x60x20x2.0	227
	3.5		415
	3		705
	4	2CF 140x50x20x2.5	173
	3.5		345
3	609		

Tab. 3. 9 Sobrecargas de viguetas para espaciamientos de 0.8 m.

L_1 (m)	L_2 máx. (m)	Vigueta	Sobrecarga (kg/m ²)
0.8	6.5	2CF 225x80x25x4.0	229
	6		338
	5.5		478
	5		663
	4.5		912
	4		1260



Capítulo III: Dimensionamiento.

51

	3.5		1768
	3		2550
	5	2CF 225x80x25x2.0	183
	4.5		317
	4		505
	3.5		778
	3		1199
	4.5		2CF 200x60x20x2.5
	4	380	
	3.5	615	
	3	977	
	4	2CF 180x60x20x2.5	278
	3.5		481
	3		795
	4	2CF 160x60x20x2.5	180
	3.5		354
	3		621



Tab. 3. 10 Sobrecargas de viguetas para espaciamentos de 1.0 m.

L_1 (m)	L_2 máx. (m)	Vigueta	Sobrecarga (kg/m ²)
1.0	6.5	2CF 300x80x25x3.0	193
	6		294
	5.5		425
	5		597
	4.5		829
	4		1153
	3.5		1627
	3		2356
	5.5	2CF 275x80x25x2.5	223
	5		352
	4.5		525
	4		768
	3.5		1123
	3		1669
	5	2CF 250x80x25x2.5	262
	4.5		415
	4		628
	3.5		939
	3		1418
	4.5	2CF 225x80x25x2.0	179
4	329		



Capítulo III: Dimensionamiento.

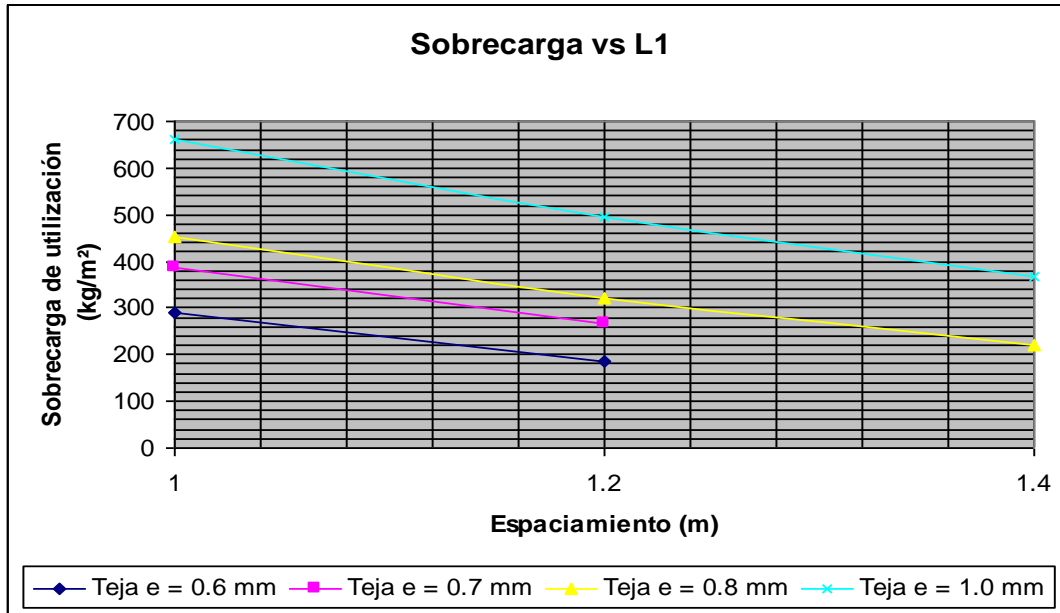
53

	3.5	2CF 200x60x20x2.5	547
	3		884
	4		229
	3.5		417
	3		707



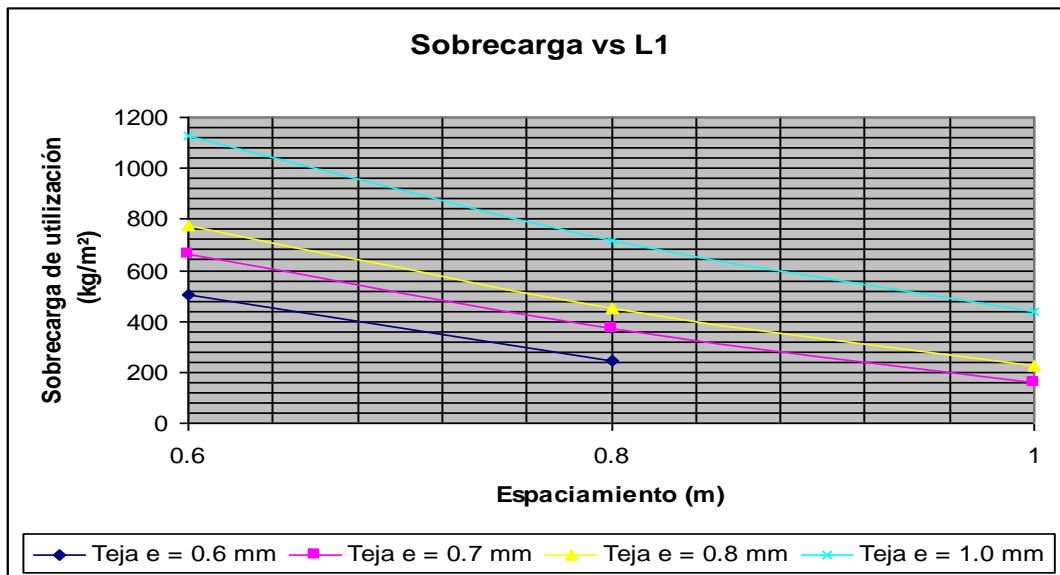
3.4 Ábacos para la utilización de los elementos estructurales.

Ábacos para la elección de las tejas en el diseño de cubiertas.



Graf. 3. 3 Sobrecargas de utilización en cubiertas.

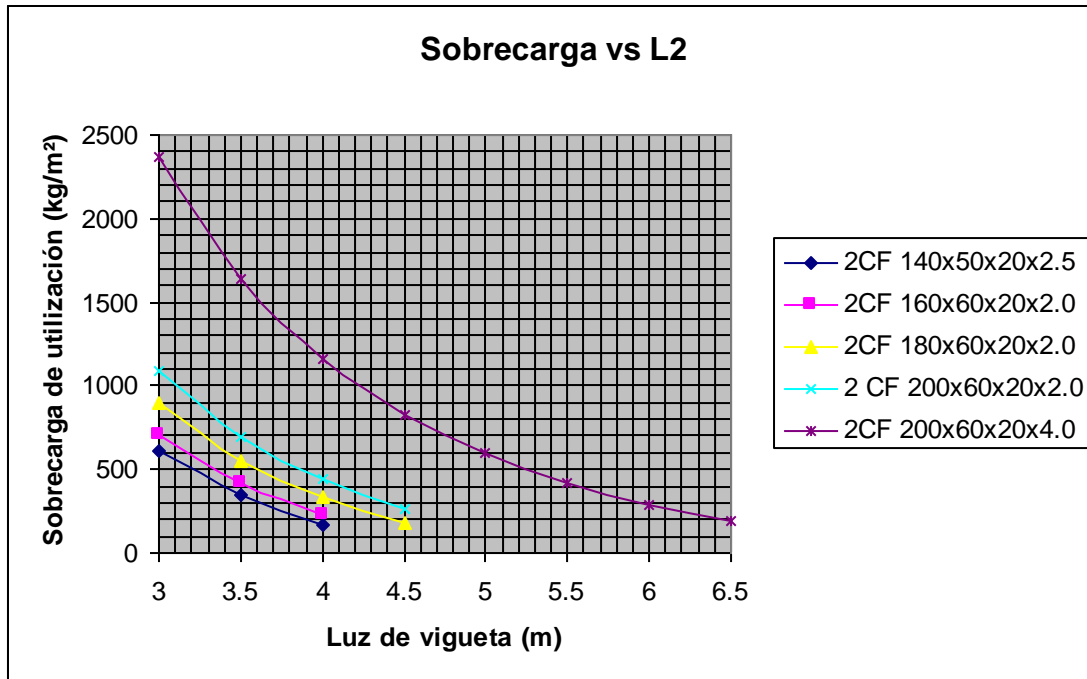
Ábacos para la elección de las tejas en el diseño de entrepisos.



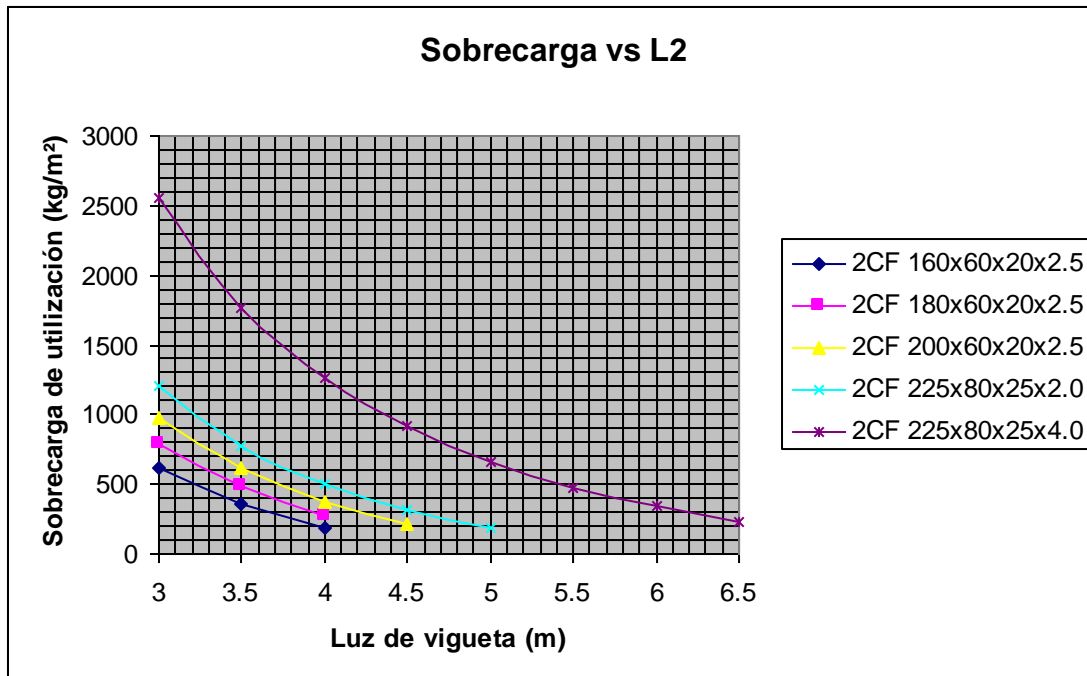
Graf. 3. 4 Sobrecargas de utilización en entrepisos.



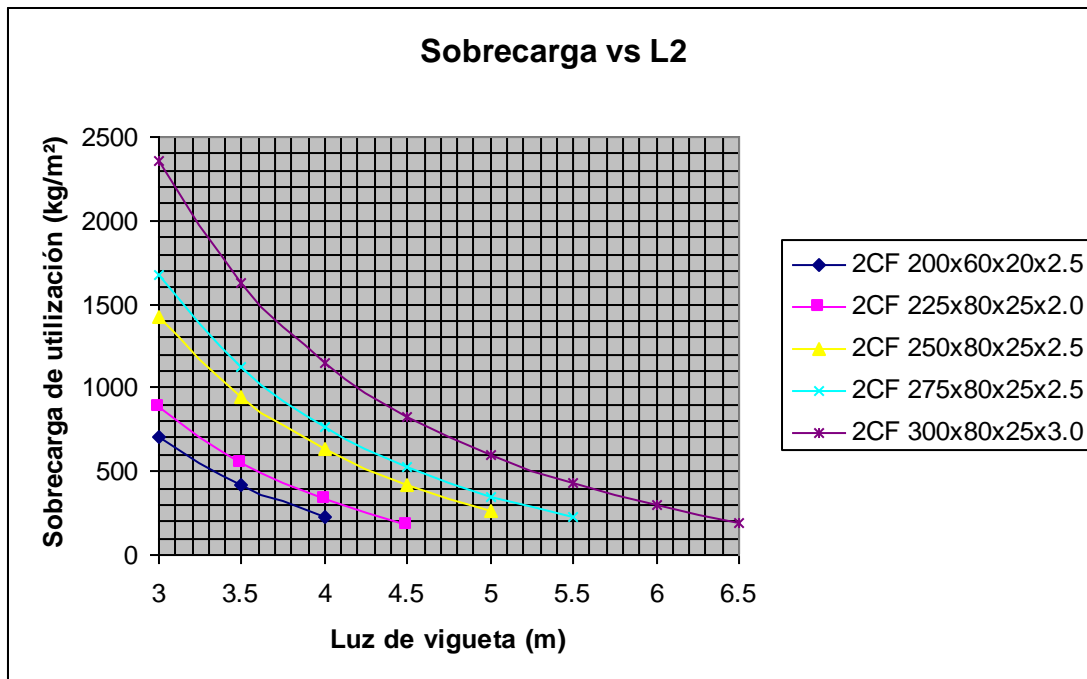
Ábacos para la elección de las viguetas en el diseño de entrepisos.



Graf. 3. 5 Ábacos para $L1 = 60$ cm



Graf. 3. 6 Ábacos para $L1 = 80$ cm



Graf. 3. 7 Ábacos para $L1 = 100$ cm

3.5 Conclusiones del capítulo.

- 1 El espaciamiento máximo desde el punto de vista constructivo que pueden tener las viguetas es de 1.4 m en cubiertas y 1.0 m en entrepisos.
- 2 El sistema está diseñado para sobrecargas máximas de 662 kg/m² en cubiertas y 1130 kg/m² en entrepisos.
- 3 Las luces máximas de las viguetas serán de 6.5 m, la mínima calculada es de 3 m, para luces menores a los tres metros se podrá definir cualquier sección de vigueta de las establecidas en los ábacos que aparecen en el epígrafe 3.4.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1 La utilización de laminados en frío como elementos estructurales en sistemas de piso constituye una solución muy favorable si se quiere lograr rapidez en la construcción del piso o cubierta del edificio, debido al poco peso del laminado.
- 2 La condición que determina en la aptitud de servicio de los elementos estructurales de sistemas de piso con acero laminado en frío está dada por el estado límite último de resistencia.
- 3 Los espaciamientos constructivos para la solución de cubierta definida en el trabajo serán de 1.0; 1.2; 1.4 m, para el caso de la solución de entrepiso los espaciamientos serán de 0.6; 0.8; 1.0 m.
- 4 Se podrá utilizar todos los espesores de tejas del catálogo de METUNAS, para la configuración del sistema de piso, bastando para su elección, la sobrecarga de utilización y el espaciamiento entre viguetas.
- 5 El sistema de piso se podrá utilizar para sobrecargas máximas de 662 kg/m^2 en cubiertas y 1130 kg/m^2 en entrepisos.
- 6 Tanto en cubiertas como entrepisos el sistema propuesto está apto para cubrir locales luces máximas de 6.5 m, el ancho del local puede tener cualquier dimensión.



Recomendaciones

- 1 El presente trabajo aborda las características resistentes, y disponibilidad de sistema de piso, por lo que se recomienda en una segunda etapa analizar la parte constructiva, detalle de uniones, montaje, tiempo de ejecución etc.
- 2 Complementar el trabajo desarrollado, con el análisis del costo de los materiales, y de ser posible compararlo con otras tipologías de sistemas de piso que se utilice en nuestro país.
- 3 Valorar la posibilidad de ensayos experimentales que validen los resultados obtenidos.
- 4 Confeccionar un modelo numérico a través de algún software especializado que permita simplificar los chequeos de los estados límites, garantizando así, ahorro de tiempo y recursos ya que una vez calibrado no será necesario la realización de otros ensayos experimentales.
- 5 Analizar la durabilidad de las vigas y chapas, ante la corrosión, para considerar el empleo de pinturas de tal forma que se alargue la vida útil del elemento estructural.



Bibliografía

Ávila, M. L. (2008). Losas compuestas: Métodos de experimentación y diseño. Puerto Padre, Cuba.

Cepeda, R. B. (2002). Construcción con el sistema de acero laminado en frío.

CIRSOC (2003). Reglamento argentino de elementos estructurales de acero de sección abierta conformado en frío.

Construction, A. I. o. S. (1994). Load and Resistance Factor Design.

Illa Laguna, C. (2008). Forjados mixtos de chapa colaborante. Análisis, proyecto y construcción.

Institute, A. I. a. S. (1996). Specification for the design of cold-formed steel structural members.

METUNAS Sistema constructivo de naves METUNAS. Catalogo Industrial. Las Tunas, Cuba.

METUNAS (2002). Sistema de Cubiertas METUNAS. Las Tunas, Cuba.

METUNAS (2005). Perfiles conformados en frío. Las Tunas, Cuba.

Miquel López, L. (2008). Estudio comparativo de tipologías de forjados analizando su coste económico, social y ambiental.

NC (2003). Edificaciones. Cargas de Uso. 284:2003.

NC (3003). Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño. 283:2003.



Piralla, R. M. (1986). Diseño Estructural. Cuba.

Proaño, M. R. (2003). Diseño de naves industriales con lámina delgada de acero. Ecuador, Escuela Politécnica del Ejército.

R. Goytisol Espinosa, R. C. R. (2002). Análisis de los perfiles conformados en frío fabricados por METUNAS Universidad de Cienfuegos.

Rodríguez, J. E. (2000). "Apuntes de estructuras metálicas."

Rojas, G. (2007). Estructuras de acero. Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción.

SCESCO Manual técnico de METALDECK. Colombia.

Torres, R. G. (2002). Ábacos para la utilización de los perfiles de acero conformados en frío en la industria azucarera cubana. Primera Parte. Cuba.

Torri, F. M. (1995). Cargas de Edificaciones y Obras de Ingeniería. La Habana.

Torri, F. M. (1995). Cargas de Edificaciones y Obras de Ingeniería. La Habana.

Fuentes en Internet:

- <http://www.slideshare.net/jmarulanda/entrepisos-presentation>.

- <http://www.construmatica.com/construpedia/forjados-mixtos>.

- www.monografias.com.

- www.scirus.com.

- www.google.com