



Universidad Central de Las Villas
Facultad de Construcciones

Tesis de Grado

Título: Losas compuestas con láminas de acero.
Propuesta de fabricación de lámina colaborante
en la Empresa MICALUM Cienfuegos.

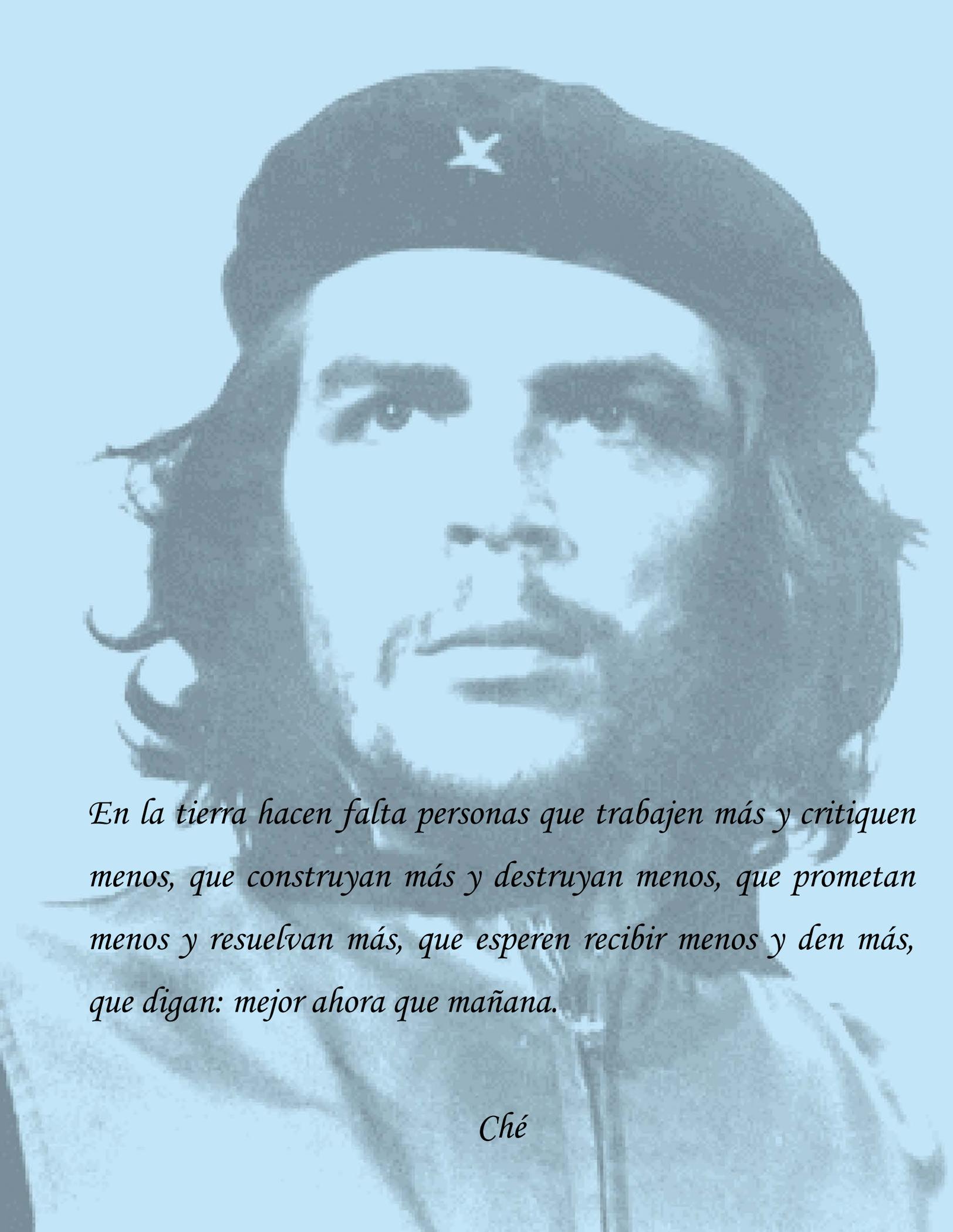
Autor: Carlos Abel Galeto Iribarnegaray

Tutor: Ing. Francisco J. Sánchez López.

Consultantes: Dr. Ing. Rafael Larrúa Quevedo.
Ing. José Ramón García Márquez.

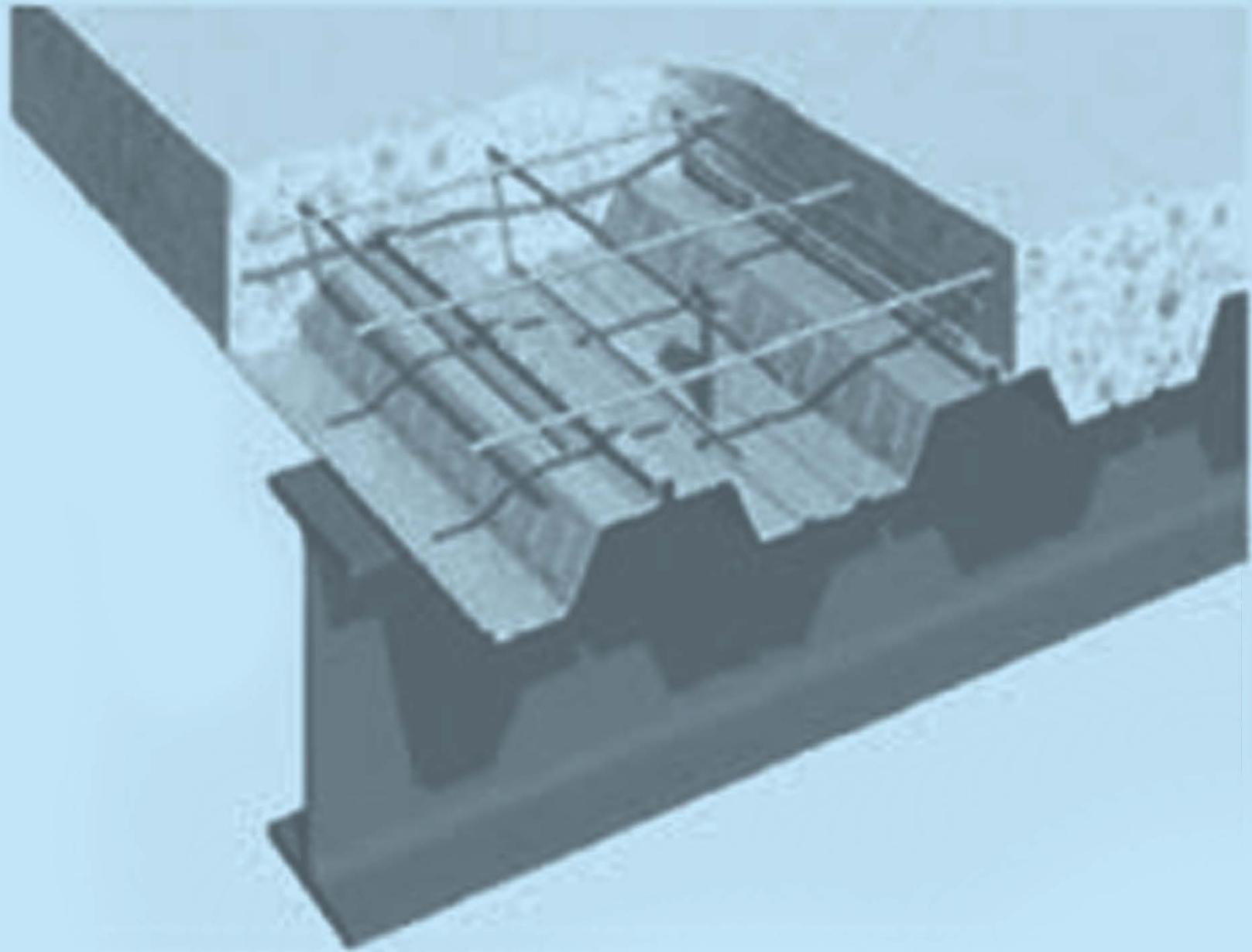
"Año 56 de la Revolución"

Año 2014



En la tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y den más, que digan: mejor ahora que mañana.

Ché



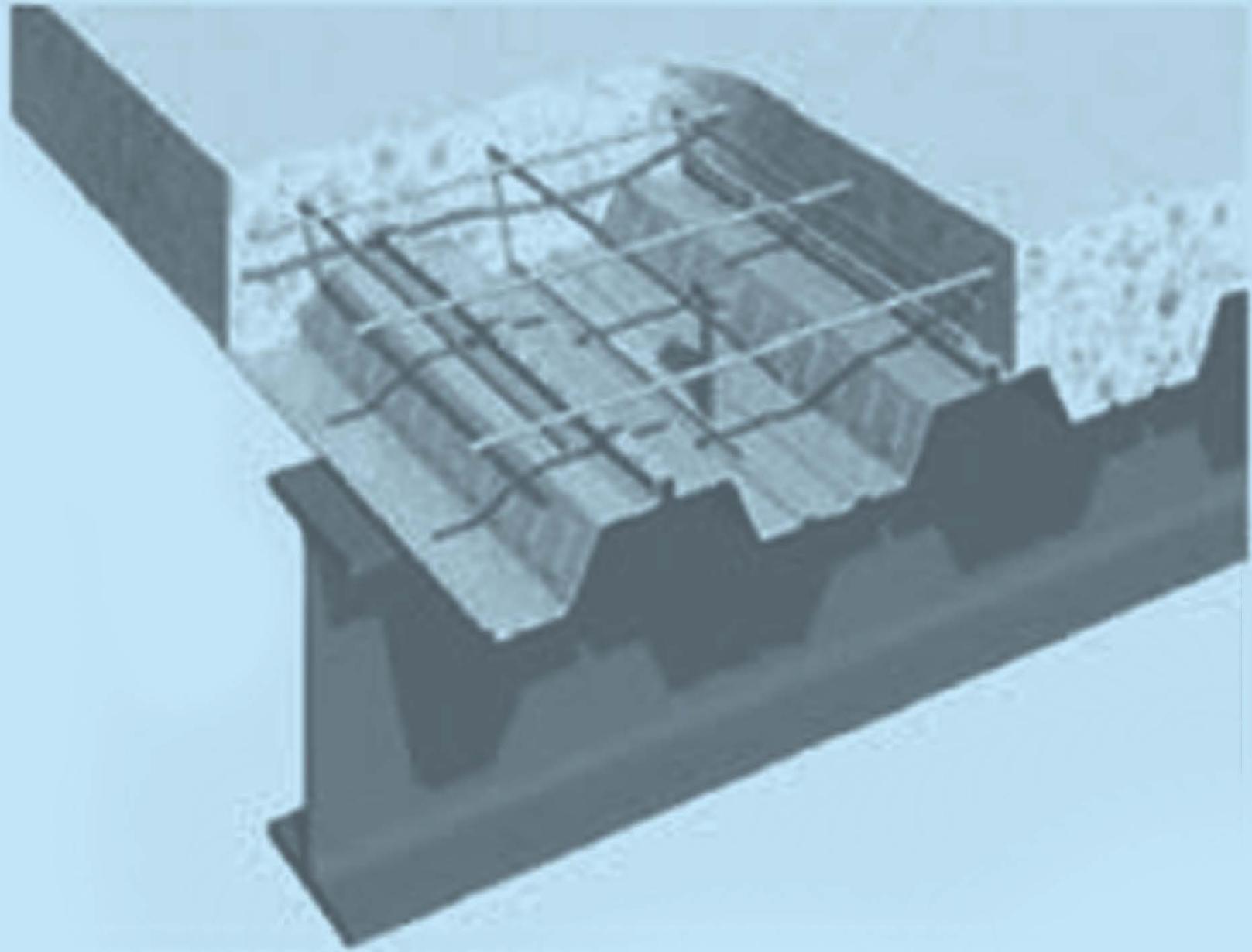
Agradecimientos



Agradecimientos

- En especial a mi tutor Ing. Francisco J. Sánchez López, por su total entrega, rigor y profesionalidad que contribuyeron a mi formación como ingeniero.
- A Juan Díaz por su dedicación y esmero en estos años de estudio.
- A mis consultantes Dr. Ing. Rafael Larrúa Quevedo y el Ing. José Ramón García Márquez.
- A mi esposa, por su paciencia infinita, comprensión y apoyo incondicional en todos los tiempos.
- A mis compañeros de trabajo, estudio y a todos aquellos que no son pocos y que de una forma u otra contribuyeron y me dieron aliento, que evito mencionar nombres para evitar un imperdonable error de omisión, pues todos jugaron un papel muy importante en la realización de este trabajo.
- A los profesores que me han impartido las distintas materias en mi carrera, ya que ellos han intervenido en mi formación y sin estos nada de lo expuesto aquí hubiese sido posible.
- A todos mis más sinceros afectos y mi gratitud eterna.

Muchas gracias



Dedicataria

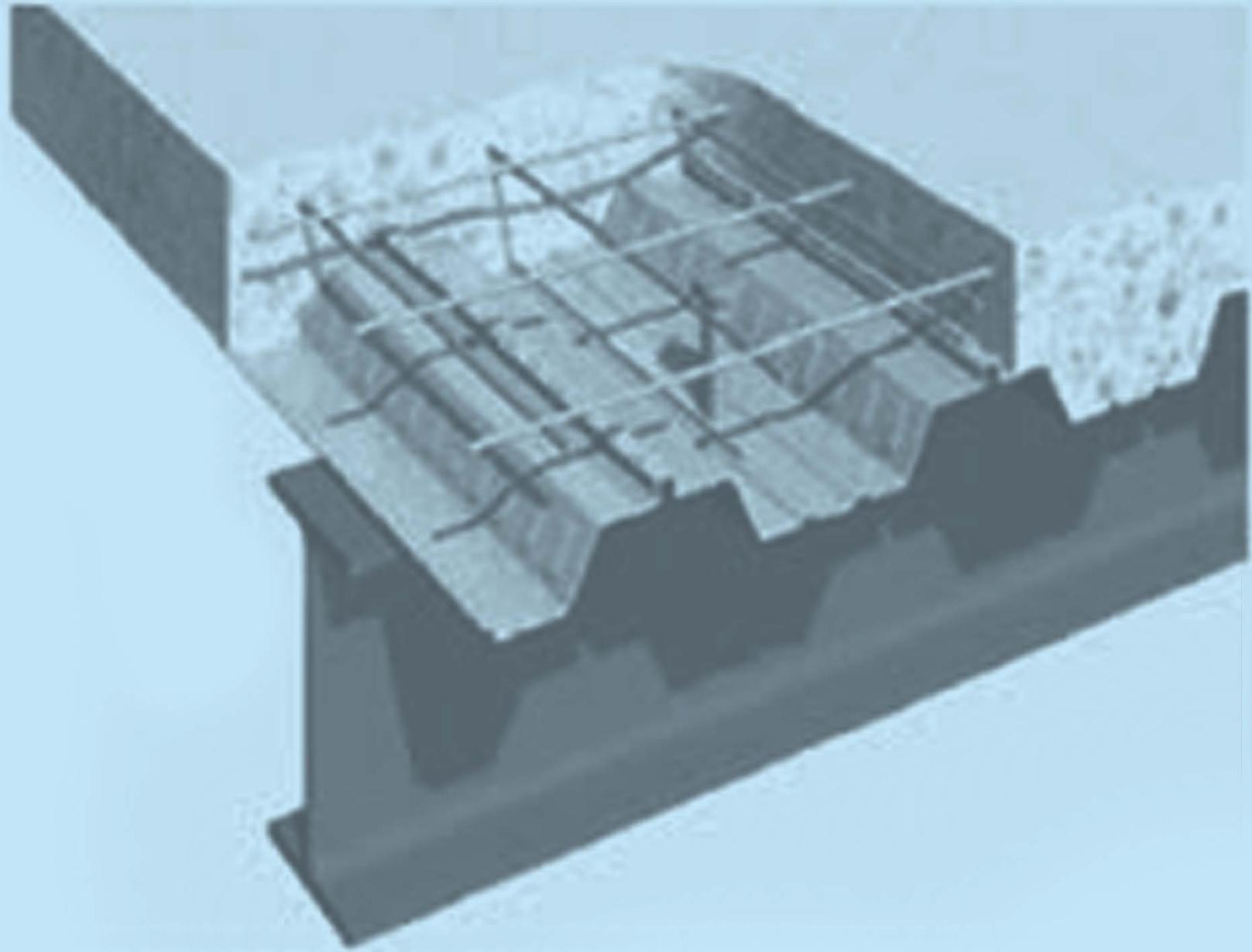


Dedicatoria

Dedicado a la memoria de mi tío Arq. Agustín Iser Menéndez que me sirvió de inspiración para estudiar esta carrera.

A mis hijas Aytana y Jennifer y a mi esposa Aymara.

A todos aquellos que de una forma u otra han contribuido a mi formación como profesional.



Resumen

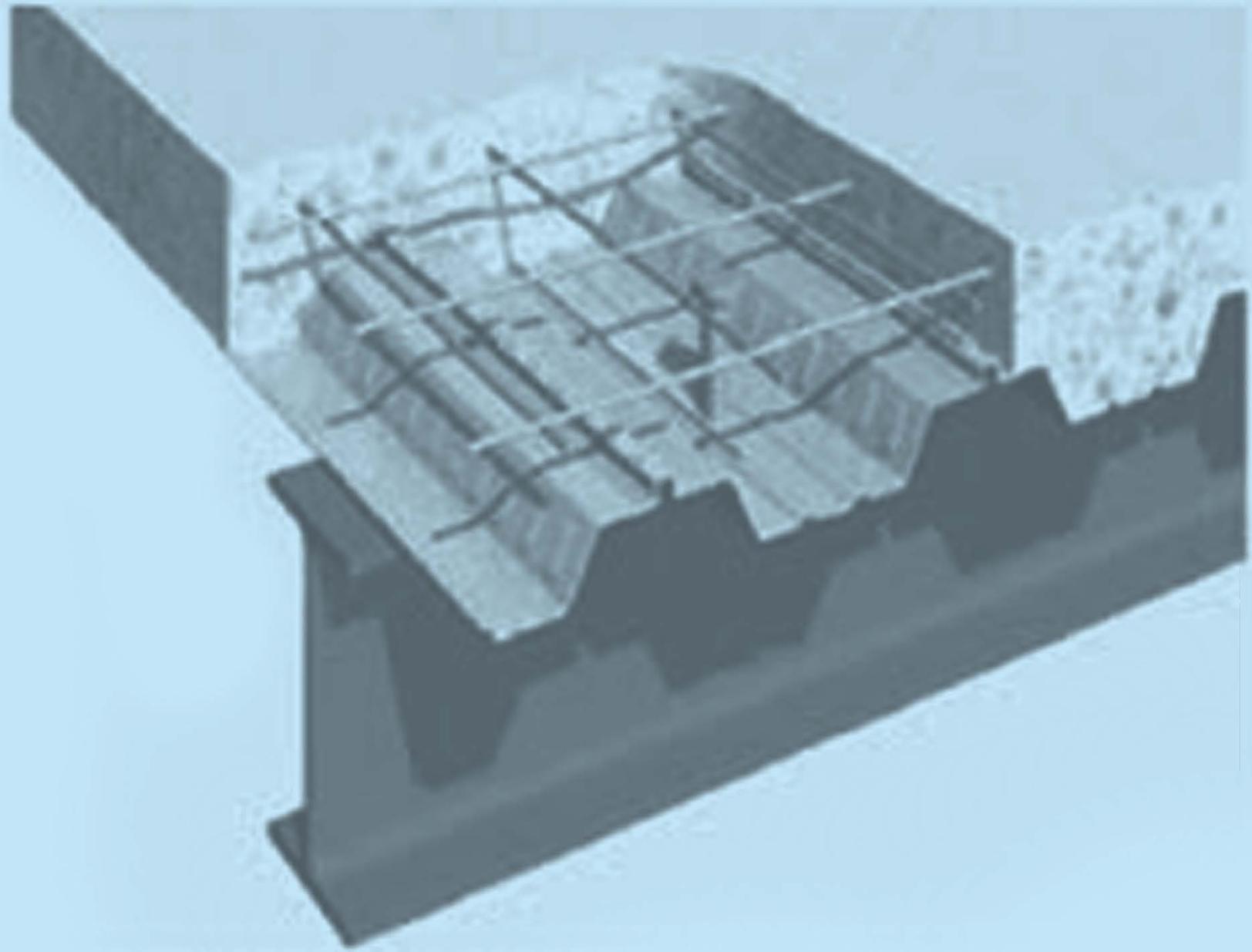


Resumen

Con la realización de este trabajo queda planteada la propuesta de construcción de una lámina para el trabajo conjunto con el hormigón comportándose como lámina colaborante. Esta propuesta se ha realizado a la Empresa MICALUM en Cienfuegos.

Con la presente propuesta se puede desarrollar en nuestro país la construcción de losas compuestas con láminas colaborantes, debido a la sustitución de importaciones.

A través de un ejemplo numérico se demuestra como la lámina propuesta es capaz de resistir las cargas y solicitaciones a la que se ha impuesto, se demuestra cómo esta lámina tiene una resistencia a cortante capaz de evitar el deslizamiento longitudinal, que por criterios de varios autores es el de mayor ocurrencia en estas losas, lográndose un trabajo compuesto entre los dos materiales (Hormigón y Acero).



Abstract

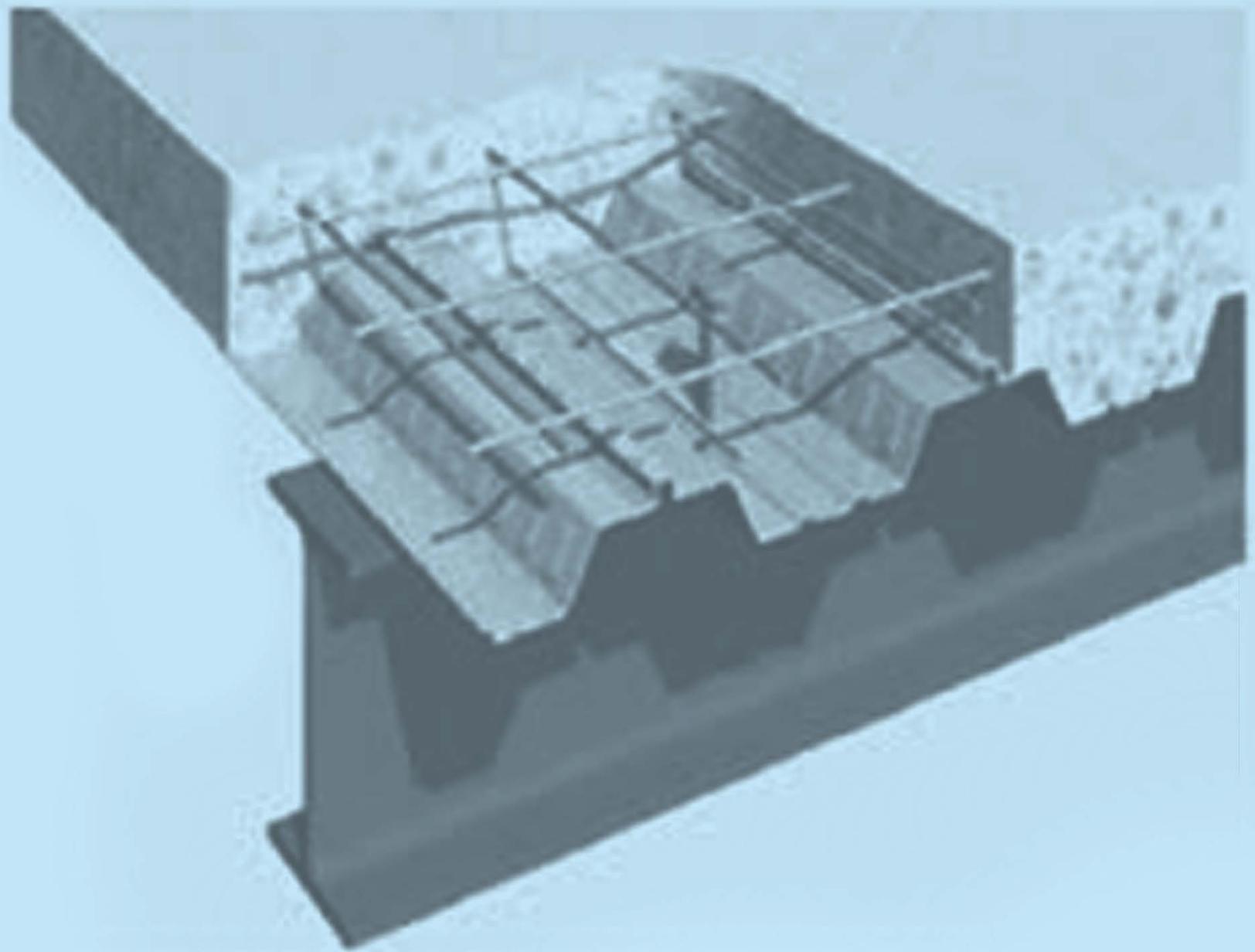


Abstract

With the realization of this work is established the proposal of construction of a sheet for the composite work with the concrete working as if contribute sheet. This proposition is for make on MICALUM Enterprise in Cienfuegos city.

With this proposal will be development in our country the slabs composite's construction, because can be importations replaces.

By means of numeric example is demonstrated the sheet resists. The loads and internal forces imposed in it. Is demonstrated this sheet can a shear resistance capable of prevent the horizontal slide that for some authors' judgments is it of bigger occurrence. In these composite slabs, in this manner it can turn out well the composite work between two materials (Concrete and steel).



Índice

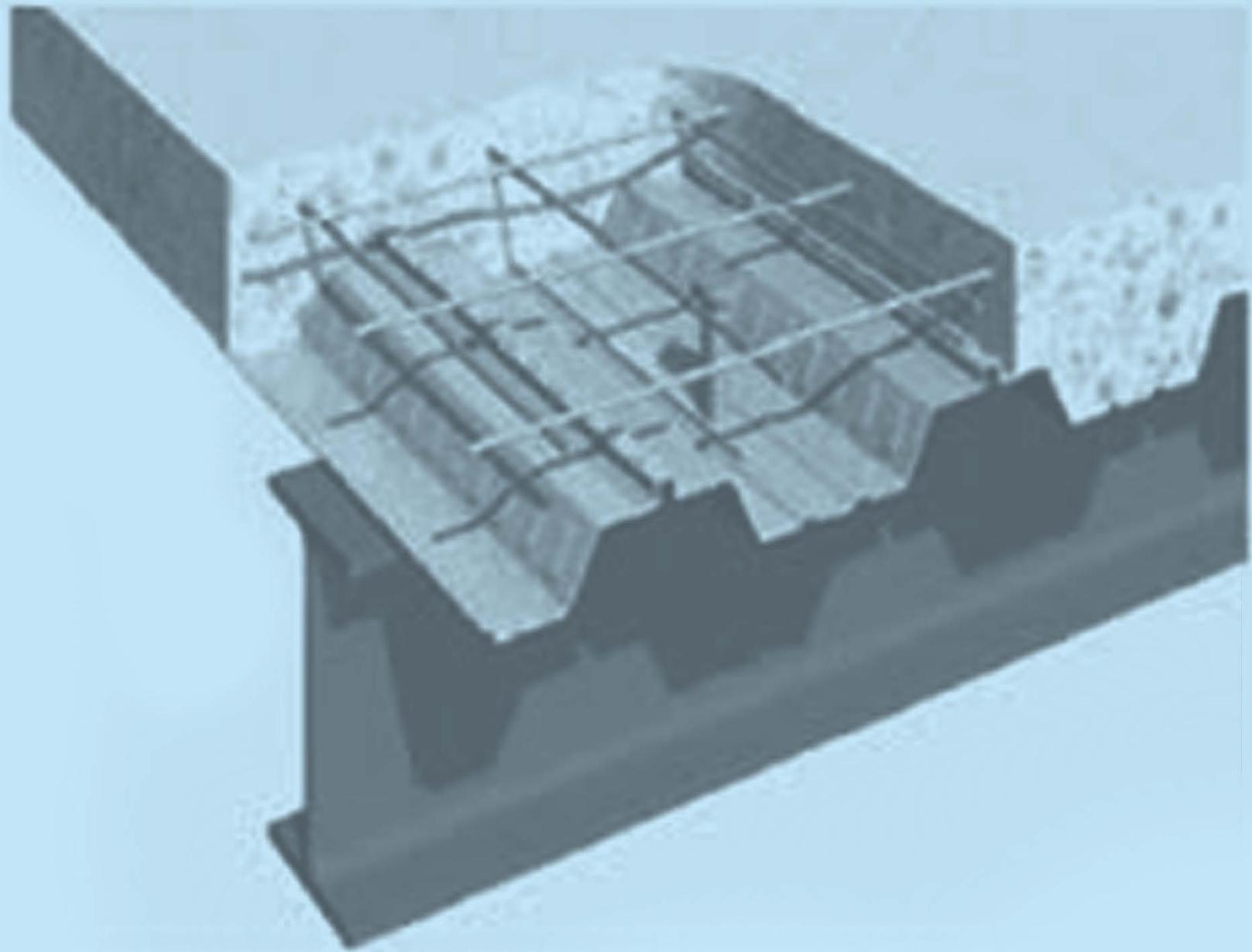


Índice

Introducción
Capítulo 1: Estado del Arte. Sistema de losas compuestas.....	2
1.1 Generalidades.	2
1.2 Trabajo compuesto de la losa de hormigón y la lámina de acero.	6
1.2.1 Diferentes criterios acerca de los conectores.....	6
1.2.1.1 Criterios en artículo. Cálculo de entresijos compuestos. Algunas consideraciones.	6
1.2.1.2 Criterios de la norma cubana NRM C 082:2004.....	7
1.2.1.3 Criterio del ingeniero Melchor López Ávila.	7
1.2.1.4 Criterio del ingeniero Ramón Vicente Fernández.....	8
1.2.1.5 Criterio del Ingeniero Luis Hernández Rodríguez.....	9
1.3 Aspectos para el diseño.	11
1.3.1 Criterios sobre la geometría de la lámina.....	12
1.3.1.1 Criterios del ingeniero Melchor López Ávila.....	12
1.3.1.2 Criterios de Miguel Ferrer Ballester.	17
1.3.1.3 Perfil geométrico de la lámina según manual de instalación steel deck.	19
1.3.1.4 Manual técnico de metal deck.	20
1.4 Métodos de diseño.	20
1.4.1 Criterios del ingeniero Luis Hernández Rodríguez.....	21
1.5 Aplicaciones prácticas.	24
1.6 Conclusiones del Capítulo.	24
Capítulo 2: Propuesta de la sección y análisis de trabajo del perfil de forma independiente.	27
2.1 Introducción.	27
2.2 Perfil actual de la Empresa MICALUM.	27
2.3 Sección del perfil propuesta para realizar en MICALUM.	28
2.3.1 Configuración geométrica de las láminas.	28
2.3.2 Configuración geométrica de las embuticiones.....	30
2.3.3 Configuración geométrica del perfil.....	33
2.3.4 Comparación de las conclusiones del ingeniero Melchor López con los parámetros de las embuticiones y la lámina.....	36
2.3.5 Configuración geométrica definitiva de la lámina propuesta.	38
2.3.6 Características mecánicas de la lámina propuesta.	39
2.3.7 Especificaciones técnicas para el perfil.....	40



2.4	Comparación con diferentes perfiles existentes.	40
2.4.1	Lámina grecada METUNAS.	40
2.4.2	Steel Deck de Ostrilion.	41
2.4.3	Steel Deck. Manual de instalación del producto (www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf EDICIÓN, NOVIEMBRE 2010. <i>Manual Técnico Instadeck</i>).	42
2.5	Comparación del perfil propuesto con el perfil propuesto por Melchor López Ávila para fabricar en la Empresa METUNAS.	43
2.5.1	Propuesta y recomendaciones del ingeniero Melchor López Ávila para la lámina grecada de METUNAS.	43
2.6	Conclusiones parciales.	44
Capítulo 3: Análisis del trabajo de la lámina colaborante conjuntamente con la sección de hormigón.		47
3.1	Introducción.	47
3.2	Fallo por deslizamiento longitudinal.	48
3.3	Fundamentos para el diseño.	52
3.3.1	Análisis de las cargas.	52
3.3.2	Métodos de diseño y revisión.	53
3.4	Características de los materiales.	55
3.5	Análisis del trabajo conjunto de la lámina de acero y el bloque de hormigón (losa colaborante).	56
3.5.1	Aspectos a tener en cuenta al realizar diseños.	57
3.5.2	Hipótesis.	57
3.5.3	Cálculo de una losa compuesta utilizando la lámina propuesta a la Empresa MICALUM.	58
3.6	Conclusiones parciales.	78
Conclusiones generales.		
Recomendaciones.		
Bibliografía.		
Anexos.		



Introducción



Introducción

La utilización de nuevas técnicas y tecnologías facilita el trabajo y ahorra materiales, tal es el caso del uso de las láminas metálicas en trabajo conjunto con el hormigón armado, comportándose como láminas colaborantes.

En el mundo es ampliamente utilizado este sistema debido a su capacidad no solo de trabajar como cofre perdido, sino también como acero colaborante en tracción colocando acero mínimo en la sección de hormigón.

En nuestro país la utilización de este sistema ha sido poco difundido por la utilización de otros sistemas como la vigueta y bovedilla, el LPTE-15, viguetas y tabletas, debido a que la importación de estas láminas es costosa y en nuestro país no se fabrican láminas colaborantes.

En Cuba se fabrican láminas galvanizadas las cuales pueden ser utilizadas para aplicar la tecnología conocida como steeldeck, tal es el caso de las construidas en la provincia Las Tunas y en la Empresa MICALUM de la provincia Cienfuegos. Para esto será preciso realizar modificaciones en la sección de dichas láminas.

Este sistema sirve tanto para entresijos como para cubiertas, con los cuales se ahorra sección de hormigón, refuerzo de acero en barras, cofres y tiempo de trabajo. Si se realiza un análisis de cargas estos elementos steeldeck son más livianos que los de hormigón armado tributando menor carga.

Son estructuras en las que se realizará un análisis de la lámina a utilizar para conocer su comportamiento y posibles variaciones, analizando esta nueva sección de la lámina, trabajando conjuntamente con la sección de hormigón como acero colaborante.

A través de estos trabajos se puede llegar a la conclusión de los diferentes espesores de carpeta de hormigón a utilizar en función de la luz de trabajo y de la sobrecarga de utilización, así como los espacios entre apoyos.



Es necesaria una investigación mediante revisión bibliográfica y consultas con especialistas que se han dedicado a estudiar este tema, partiendo del siguiente esquema metodológico:

Situación problemática:

Con las nuevas construcciones y rehabilitaciones de edificios de nuestro país se puede desarrollar este sistema para garantizar confortabilidad, seguridad y rigidez a dichas edificaciones, acortando los tiempos de ejecución, ahorrando materiales, mano de obra y demás recursos.

Problema de estudio: Ampliar el estudio de las características de las láminas que se fabrican en la Empresa MICALUM Cienfuegos para desarrollar con ellas un sistema que permita su utilización en nuestras construcciones.

Hipótesis: Por las obras que se han construido en Cuba con este sistema, así como con la bibliografía existente del sistema en el exterior pueden elaborarse propuestas que permitan la utilización de los perfiles o láminas de MICALUM Cienfuegos trabajando no solo como cofre perdido, sino también como acero colaborante en tracción.

Campo de acción: Utilización de los perfiles de MICALUM Cienfuegos en el proyecto y construcción de obras con la aplicación de este sistema en entrepisos y cubiertas.

Objetivo general: Diseñar la geometría requerida a las láminas de la Empresa MICALUM Cienfuegos para su utilización como láminas colaborantes.

Objetivos específicos:

1. Distinguir mediante una revisión bibliográfica las características y condiciones que deben reunir las láminas para que puedan trabajar como láminas colaborantes.
2. Analizar los perfiles y la tecnología de la Empresa MICALUM en Cienfuegos.
3. Proponer la elaboración de las láminas de MICALUM con relieves o embuticiones que faciliten el trabajo colaborante en ellas.



4. Mostrar de forma gráfica toda la información que se requiere para utilizar los perfiles como lámina colaborante para diferentes luces de trabajo, diferentes cargas y los distintos espesores de carpeta requeridos según los aspectos anteriores.

Metodología de la investigación:

Aporte Teórico: Se ampliarán las experiencias y la documentación referida al sistema steeldeck con la utilización de perfiles cubanos, aportes que podrán servir de base para el perfeccionamiento de futuros trabajos en otras edificaciones.

Aporte Práctico: La provincia y el país contarán con láminas colaborantes que puedan trabajar conjuntamente con la sección de hormigón.

Aportes Económicos: Por ser este sistema más ligero que las losas de hormigón armado las estructuras y cimentaciones podrán ser de menores dimensiones, así como se reducirá el consumo de materiales, la utilización de mano de obra y se acortarán los plazos de ejecución, mostrando todo esto un considerable ahorro de recursos, además se reducen las importaciones de las láminas colaborantes que son de altos costos en el mercado internacional.

Esquema metodológico:

- ANÁLISIS GENERAL DEL PROBLEMA.
- DETERMINACIÓN DE LA HIPÓTESIS.
- PLANTEAMIENTO DEL OBJETIVO GENERAL.
- PLANTEAMIENTO DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.
- ETAPA DE ANÁLISIS Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.
- ANALISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES ELABORADOS EN CUBA.
- ANALISIS DE LOS PERFILES EN COLABORACIÓN CON EL HORMIGÓN.
- CONFECCIONAR LA DOCUMENTACIÓN GRÁFICA PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS PERFILES EN TRABAJO CONJUNTO CON EL HORMIGÓN.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Estructura de la Tesis

Introducción:(Mencionada en los inicios del protocolo)

Dedicatoria y agradecimientos

Resumen

Índice

Capítulo 1: Estado del Arte. Sistema de losas compuestas.

Serán analizadas las formas de utilización del sistema, así como los tipos de perfiles y las formas de conectarlos a la sección de hormigón, analizando los diferentes criterios en la bibliografía consultada y experiencias prácticas.

Capítulo 2: Propuesta de la sección y análisis de trabajo del perfil de forma independiente.

Se analizará la geometría de las láminas que se fabrican en MICALUM para investigar su trabajo de forma independiente bajo la acción de cargas en condiciones de trabajo.

Capítulo 3: Análisis del trabajo de la lámina colaborante conjuntamente con la sección de hormigón.

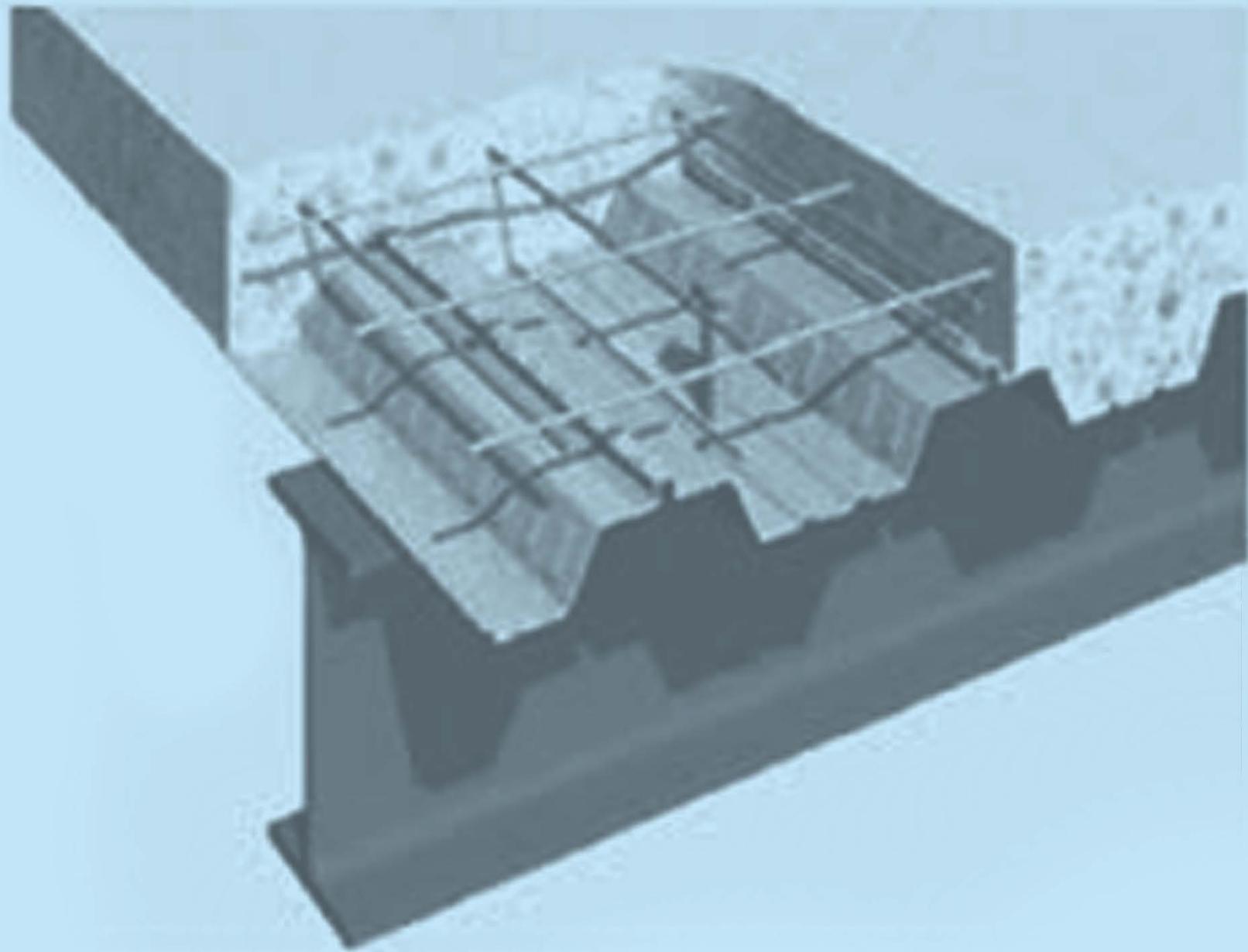
Se realizará un análisis de la lámina trabajando conjuntamente con la sección de hormigón, realizando una disposición de los anclajes o conectores para completar este trabajo conjunto con los elemento de apoyo (vigas). Se realizarán diseños para cada una de las luces teniendo en cuenta las cargas actuante y el espesor de la carpeta de hormigón.

Conclusiones y recomendaciones

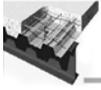
Bibliografía

Anexos

- Esquemas y cálculos
- Tablas



Capítulo I



Capítulo 1: Estado del Arte. Sistema de losas compuestas.

1.1 Generalidades.

Una losa compuesta es la losa en la que se combinan láminas de acero y una masa de hormigón armado sobre ellas (Figuras 1.1), en estos casos dichas láminas tendrán que ser capaces de resistir tanto las cargas permanentes aportadas por el hormigón vertido, solución de terminaciones de pisos y cubiertas y las cargas de utilización para la que se destine según el fin de la edificación donde se construyan. El *steeldeck* corresponde a una estructura mixta horizontal en la que la colaboración entre los elementos de acero y los de hormigón proveen de prestaciones estructurales optimizadas. Sus variados usos y aplicaciones permiten resolver desde proyectos de edificios industriales, habitacionales, educacionales, de estacionamientos y de servicios. Se le suele conocer también por el nombre de losa colaborante o encofrado colaborante en reconocimiento de una de sus funciones.

Como se ha podido investigar el origen de esta tipología se supone a inicio de 1829 con una patente de Henry Robinson Palmer, que al principio se empleaba como encofrado perdido.¹

Todas estas aplicaciones se fundamentaban en un trabajo independiente del hormigón y del acero y es entonces que analizan los ingenieros: si se debe usar la losa de hormigón sobre la lámina, ¿por qué no lograr que trabajen en conjunto? La respuesta es que surgen los entrepisos compuestos con lámina de acero como encofrado permanente; es alrededor del año 1950 que en St Louis, Estados Unidos, Granco Steel Products Company se convierte en la primera que comercializó un entrepiso compuesto usando básicamente una lámina perfilada de gran resistencia con una malla de alambres acerados soldados a su superficie. Es sobre 1960 que Inland-Ryerson Co. saca al mercado otro tipo de piso compuesto usando

¹Tomado de la tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas del Ing. Ramón Vicente Fernández (2004). Redistribución de esfuerzos en forjados de chapa nervada y hormigón continuo, Universidad Politécnica de Madrid.



básicamente la misma lámina celular anterior, pero con la superficie cubierta de pequeños relieves o depresiones.²

Las primeras investigaciones en busca de una buena conexión que partían de una chapa lisa a la que se soldaban elementos que cumplen esta misión. Almas metálicas o hilos fueron algunas de las opciones estudiadas. El siguiente paso consistió en ondular la chapa para reducir el peso propio del forjado, asemejando a los aligerados de viguetas y bovedilla.

A partir de entonces comienza una rápida evolución y desarrollo, son cada vez más las edificaciones que se construyen con esta novedosa tecnología, la cual tiene un uso muy general en todo este campo, siendo en la actualidad la preferida por muchos; se emplean en rascacielos, pequeñas edificaciones comerciales, viviendas, almacenes, puentes³ y otras aplicaciones prácticas por las grandes ventajas que ofrece.

Se considera que en esta estructura mixta la parte superior de hormigón trabaja a compresión.

Estas láminas son generalmente de acero galvanizado debido a que con este material se garantiza su durabilidad. En ocasiones la cara inferior se cubre o protege con determinados productos los que sirven de protección contra los agentes externos que provocan la corrosión y a su vez pueden servir de aislamiento o protección contra el fuego.

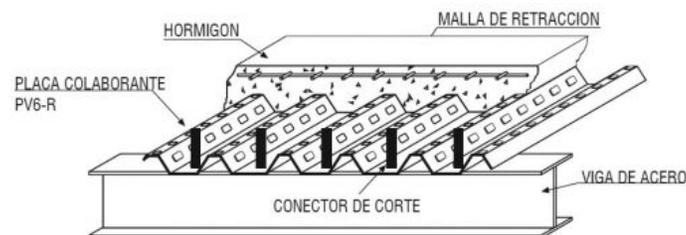
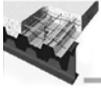


Figura 1.1 Losa colaborante Steel deck embuticiones (Ing. Melchor López Ávila 2010).

²Tomado de Dallaire, E. E.: Cellular steel floors mature Civil Engineering, ASCE Estados Unidos, 70-74, Julio 1971.

³Tomado de Carlin G.P.;M.S. Mirza: Replacement of reinforced concrete deck of Champlain Bridge , Montreal, by orthotropic steel deck, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.23, No. 6, 1341-1349, 1996.



En la tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas del Ing. Melchor López Ávila se plantea que la utilización de estas láminas metálicas data de los años 20 del siglo pasado, siendo la lámina el componente estructural principal, y que añadiendo la cubierta de hormigón se aumentó la resistencia estructural y la protección contra el fuego.⁴

Según la revisión bibliográfica realizada, el estudio de estos perfiles en nuestro país comienza en el año 1986 con un trabajo titulado Análisis de entresijos de hormigón y acero, realizado por el ingeniero Juan Félix García Herrera publicado en la revista Ingeniería Estructural Vol. IX, no.3, 1988, en el que se indica que con este se ha comenzado el estudio de los perfiles metálicos doblados en frío para ser utilizados en cubiertas y entresijos autoportantes teniendo en cuenta las condiciones propias existentes en Cuba⁵.

Según lo expuesto en el Manual Técnico Sistema Constructivo Placa Colaborante Acero Deck, el sistema ofrece diversas ventajas respecto a los sistemas tradicionales de construcción, siendo idóneo en proyectos donde el tiempo de ejecución de la obra es reducido. Entre las principales ventajas del sistema están:

- Variedad de aplicaciones: Se usa sobre estructuras metálicas, de hormigón y mixtas.
- Eliminación del encofrado tradicional.
- Limpieza y seguridad en obra.
- Fácil de instalar, liviano y apilable.
- Construcción a medida y entrega inmediata.
- Ahorro significativo de materiales, mano de obra y tiempo, que se traduce en dinero.^{6 7 8 9}

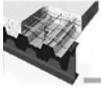
⁴Tomado de la tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas del Ing. Melchor López Ávila (2010) Estudio del comportamiento de losas compuestas con lámina colaborante mediante la combinación de técnicas de experimentación y simulación numérica, Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas.

⁵ Análisis de entresijos de hormigón y acero, ing. Juan Félix García Herrera, Ingeniería Estructural, Vol. IX, no. 3, 1988, Cuba

⁶Intadeck. Manual Técnico Sistema Constructivo Placa Colaborante Acero Deck , Tomado del sitio web www.alcor.com.ar/alcor_instadeck.pdf

⁷ Cook, J.P: Construcciones de sistema de piso compuesto de láminas de Acero, concreto y largueros de acero, Editorial Limusa, México, 1987.

⁸Evans, H. R.; H.D. Wright: Developments in the strength and stability of structures, Steel-concrete composite flooring deck structures, 1987.



En el trabajo titulado Arquitectura en acero. Entrepisos y cielos se encontraron ventajas que coinciden con las mencionadas anteriormente y otras que el sistema también presenta, estas son:

- Menor peso.
- Diseño optimizado con ahorro de hormigón debido a su geometría.
- Facilidad de transporte.
- Rapidez de montaje.
- Seguridad y facilidad de instalación.
- Facilita trabajos en pisos inferiores a los del vaciado del hormigón.^{10,11}
- Reducción de Plazos de construcción.
- Funciona como una efectiva plataforma de trabajo durante su instalación.
- Reduce encofrados de losas¹²

Este sistema también está sujeto a desventajas según se expone en el trabajo⁴referenciado anteriormente y las mismas son:

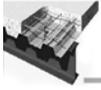
- Alto precio del acero
- Necesidad del mantenimiento periódico a las láminas metálicas para contrarrestar la corrosión.
- Dificultad para alcanzar una adecuada capacidad de resistencia al fuego y que debe ser protegida para que resista los efectos atmosféricos. Esto puede resolverse con la colocación directa sobre la cara inferior de la lámina de productos a base de asbesto, mica y amianto u otros tratamientos.⁵

⁹ Hill, H. V.: Advantages of composite steel floor decks, Civil Engineering and public works review, Estados Unidos, 686-687, Agosto 1983.

¹⁰ Lamport, W. B.; M. L. Porter: Deflection Predictions for concrete slabs reinforced with steel decking, ACI Structural Journal, Estados Unidos, 87(5), 564-570, Sep- Oct., 1990.

¹¹ Wright, H. D.: The use of profiled steel sheeting in floor construction. Journal Construction Steel Research, 279-295, Julio 1987.

¹² Tomado de www.arquitecturaenacero.org/index.php (Consultado 3-3-2014)



1.2 Trabajo compuesto de la losa de hormigón y la lámina de acero.

La unión simple entre la lámina de acero y el hormigón no se considera efectiva para la acción conjunta que muestra el sistema como losa colaborante. El trabajo compuesto se garantizará por diferentes medios los cuales podrán ser independientes pudiendo existir la combinación de varios de ellos, la lámina metálica manifiesta con el hormigón endurecido una interacción mecánica, trabajando como refuerzo en tracción debida a la flexión, formando un único elemento estructural con una alta capacidad para soportar las cargas que sobre el actúan.

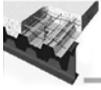
1.2.1 Diferentes criterios acerca de los conectores.

1.2.1.1 Criterios en artículo. Cálculo de entrepisos compuestos. Algunas consideraciones.

En el artículo Cálculo de entrepisos compuestos. Algunas consideraciones¹³ se plantean los siguientes medios para asegurar la unión:

- Depresiones o relieves en la superficie del perfil (embozadura).
- Pequeños agujeros o perforaciones incompletas en la lámina.
- Anclajes en los extremos.
- Forma entrante del perfil. Este tiene el inconveniente que el hormigón tiende a rajarse o agrietarse horizontalmente en la parte superior del nervio, en la unión del ala con el alma, debido a las grandes tensiones que se producen en esa zona.
- Barras soldadas a la lámina. Debido al poco espesor de esta se hace compleja la soldadura sin dañarla.

¹³Ing. Luis Hernández Rodríguez, Dr. Ing. Rafael Larrúa Quevedo, Ing. Mavel Pardo González, Ing. Martha Molina Padrón (Revista Cimientos, Año 4, no.7, 2003)



1.2.1.2 Criterios de la norma cubana NRM C 082:2004.

La norma cubana NRM C 082:2004¹⁴ igualmente define los conectores como dispositivos que posibilitan el trabajo conjunto de la losa y la lámina de acero, la misma muestra tres tipos de ellos como en uso y dos adicionales indicando que se encuentran en desuso debido a los daños que pueden causar tanto a la lámina como a la sección de hormigón.

Los tipos de conectores que brinda esta norma como eficaces son:

- Depresiones o relieves en la superficie del perfil (embozadura).
- Pequeños agujeros o perforaciones incompletas en la lámina.
- Anclaje en los extremos.

Esta norma plantea en desuso por sus desfavorables condiciones las formas reentrantes en el perfil y las barras soldadas a la lámina.

1.2.1.3 Criterio del ingeniero Melchor López Ávila.

Los sistemas de embuticiones o embozaduras también han sido objeto de numerosos estudios tanto numéricos como experimentales, siendo la profundidad de estas posiblemente el parámetro que más se ha abordado (Ing. Melchor López Ávila 2010). Este autor en su tesis plantea también que a medida que aumenta la profundidad de estas embuticiones, mayor es el aporte resistente al cortante longitudinal. Además concluye que no es recomendable debilitar el espacio entre estas, siendo más factible y eficaz aumentar su ancho.

Este autor concluye que las embuticiones serán de sección rectangular por ser las más eficaces para garantizar el trabajo como losa colaborante, planteando varios sentidos de la dirección de estas (figura 1.2)

¹⁴NRM C 082:2004 Cálculo de losas compuestas con láminas de acero colaborante sometidas a cargas estáticas. Código de buenas prácticas



Fig.1.2 Variación del sentido y alternancia de las embuticiones (Ing. Melchor López Ávila 2010).

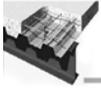
Alternar el sentido de las embuticiones tecnológicamente puede resultar costoso por demandar esto mayor fuerza de máquina de conformado o mayor área de trabajo en caso que el embutido se pretenda lograr con troqueladoras (Ing. Melchor López Ávila 2010)⁴.

Es criterio del autor y así pretende demostrarse que combinando las embuticiones o embozaduras con conectores en los extremos sobre las vigas ayudara el trabajo de la losa colaborante aumentando la resistencia al cortante longitudinal.

1.2.1.4 Criterio del ingeniero Ramón Vicente Fernández.

Desde los primeros momentos de aparición de este sistema las investigaciones han estado centradas en el diseño de sistemas que mejoren el comportamiento a esfuerzos rasantes, con el objetivo de lograr agotar la capacidad a flexión. Primeramente se trataba de la adición a la chapa de elementos que mejoren la conexión tales como chapa, redondos, etc. Es la misma idea que en los diseños actuales se persigue con la soldadura de pernos.

Avances posteriores en la maquinaria de laminación abrieron las puertas a la consecución de modelos de chapa en los que sea la propia forma de la misma junto con posibles muescas, indentaciones o embuticiones las que mejore el comportamiento a rasante, sacando provecho de propiedades de los hormigones como la retracción para lograr mejores conexiones.



Como resumen a todas las investigaciones realizadas con relación al efecto de las indentaciones, se resumen a continuación las principales conclusiones alcanzadas:

- Las indentaciones mejoran siempre el comportamiento frente al esfuerzo rasante de los forjados de chapa nervada.
- Las muescas perpendiculares a la dirección del corrimiento son más efectivas que las paralelas o las oblicuas.
- La profundidad de las indentaciones será la máxima que permita el proceso y sin menoscabo de la rigidez del perfil. Conviene recordar que la chapa debe soportar en la mayoría de los casos el peso del hormigón fresco sin una flecha excesiva, por lo que es importante que el diseño de las muescas no reduzca en exceso la inercia de la chapa.¹

1.2.1.5 Criterio del Ingeniero Luis Hernández Rodríguez.

1- Existen diversas formas de lograr la unión hormigón – acero en la losa compuesta, pero algunos tienen inconvenientes como:

a) Con la forma reentrante del perfil, el hormigón tiende a agrietarse horizontalmente y separarse verticalmente en la parte superior del nervio, en la unión del ala con el alma, debido a las grandes tensiones que ahí se producen.

b) Debido al poco espesor de la lámina, de utilizarse barras o bordes acanalados soldados, se hace compleja la soldadura sin dañarla.

2- No se analiza la losa compuesta con lámina con nervaduras perpendiculares al eje longitudinal de las vigas de apoyo por tener poca resistencia y rigidez.¹⁵

¹⁵ Tomado de la tesis en opción al grado científico del Doctor del Ingeniero Luis Hernández Rodríguez (2003) Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero a flexión con el empleo de láminas perfiladas. Universidad de Camagüey.

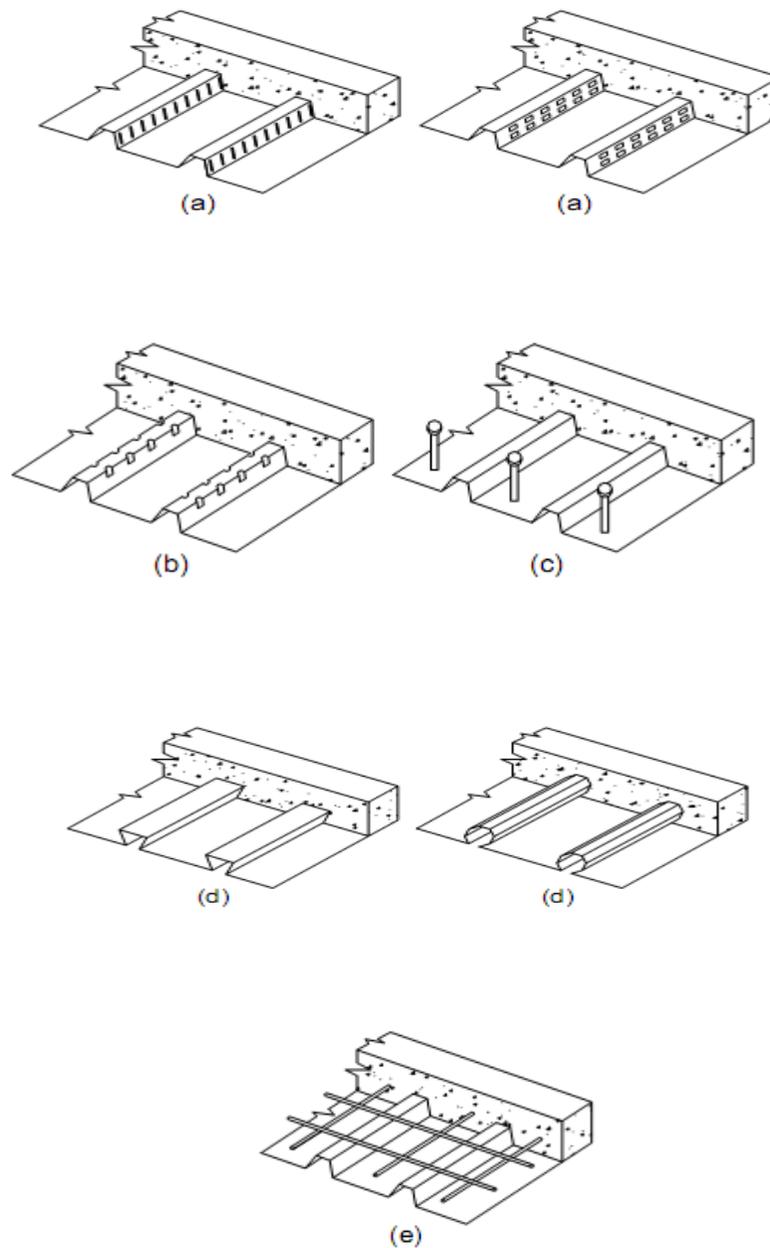


Figura 1.3 Distintas formas de conectores para la losa. (Hernández Rodríguez 2003 y NRMC 082:2004)

- a) Depresiones o relieves en la superficie del perfil (embozadura).
- b) Pequeños agujeros o perforaciones incompletas.
- c) Anclaje en los extremos.
- d) Forma reentrante del perfil (en desuso actualmente).



e) Barras soldadas (en desuso actualmente).

1.3 Aspectos para el diseño.

Los fallos más predominantes y que pueden presentarse en el sistema de losas colaborantes son los siguientes:

- Fallo por flexión.
- Fallo por cortante vertical.
- Fallo por deslizamiento longitudinal.

Este último fallo es el más frecuente debió a que la conexión entre la lámina y el hormigón es incompleta lo que tiene como consecuencias que el sistema no llega a alcanzar su máxima resistencia a flexión.⁴

La resistencia al cortante longitudinal puede ser dividida en tres componentes para el enlace entre los dos materiales:⁴

- Enlace químico: Adherencia de la pasta de cemento a la lámina metálica.
- Enlace friccional: Ocurre por la aplicación de fuerzas normales activas.
- Enlace mecánico: Es la interacción física entre la lámina y el hormigón, en ella tienen que ver la geometría del perfil, la fricción entre el acero de la lámina y el hormigón, las embuticiones existentes en la superficie metálica.

Puede decirse como consecuencia de lo analizado por los autores antes mencionados que las embuticiones jugaran un papel importante para evitar el cortante longitudinal, estas actuarán como llaves de cortante y evitarán el deslizamiento de la lámina con respecto al bloque de hormigón.



Estas principales formas de fallo en las losas mixtas se pueden ilustrar según¹⁶ por la figura 1.3. Este autor coincide con los criterios de fallo antes mencionados (Melchor López Ávila), coincidiendo que el fallo más frecuente es por deslizamiento longitudinal debido a la baja eficacia de los sistemas de interferencia, produciéndose cuando se supera la resistencia de los sistemas de retención del deslizamiento (embuticiones, embozaduras)

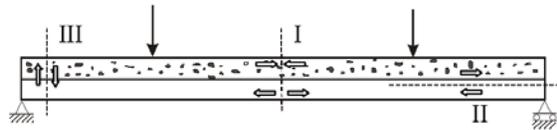


Fig. 1.3 Tipos de fallo (Ferrer Ballester, 2005)

I: Fallo por flexión, II: Fallo por deslizamiento longitudinal, III: Fallo por cortante

1.3.1 Criterios sobre la geometría de la lámina.

1.3.1.1 Criterios del ingeniero Melchor López Ávila.⁴

Melchor López Ávila⁴ define una geometría para las láminas de acuerdo a una serie de ensayos realizados, los parámetros que aquí se indican son los siguientes:

- Espesor de la lámina colaborante (δ)
- Peralto de la lámina colaborante (h)
- Proyección horizontal de la superficie inclinada de las láminas (h_1)
- Ángulo de perfilado (α)
- Ancho de la greca (b)

¹⁶ Estudio Numérico y Experimental de la Interacción entre la Chapa de Acero y el Hormigón para la mejora Resistente de las Losas Mixtas frente al Deslizamiento Longitudinal, Miguel Ferrer Ballester, Tesis para la obtención del grado de Doctor, 2006

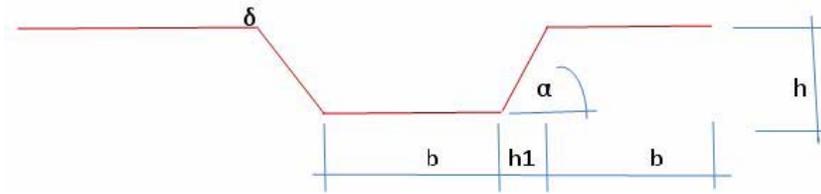


Fig. 1.4: Parámetros geométricos de la lámina (Melchor López, 2010)

Espesor de la lámina colaborante (δ): Plantea que cuanto mayor sea este espesor, mayor será la fuerza necesaria a aplicar para vencer la resistencia al cizallamiento (cortante) entre la lámina metálica y el bloque de hormigón.

Peralto de la lámina colaborante (h): En la medida que disminuye la altura de las láminas se observa una tendencia casi generalizada a que disminuya la resistencia al deslizamiento longitudinal. Al mismo tiempo también se verifica una tendencia a que cuando la altura del perfil se iguala al ancho de la greca, el aporte al cortante longitudinal experimenta un máximo de resistencia. Es significativo destacar que ángulos de perfilado rectos combinados con bajas alturas de lámina aumentan la probabilidad de ocurrencia de fallos frágiles.

Proyección horizontal de la superficie inclinada de las láminas (h_1): Longitud que se obtiene según el ángulo de perfilado.

Ángulo de perfilado (α): A mayor ángulo, menor será la resistencia al esfuerzo cortante que se origina en la superficie lámina- hormigón. De aquí se infiere que un perfil más cerrado trabajará más eficientemente en oposición al cizallamiento que un perfil abierto. Esto se explica físicamente analizando que debido a la interacción entre las superficies surgen fuerzas de contacto entre el bloque de hormigón y la lámina que tienden a separarlos por efecto cuña; por ello mientras más cerrados los ángulos menos se favorece la liberación vertical del hormigón.

Proyección horizontal de la superficie inclinada de las láminas (h_1): Longitud que se obtiene según el ángulo de perfilado.

De la misma forma Melchor López en su tesis recomienda que el ángulo de perfilado no sobrepase los 90° , cuando esto ocurre $h_1=0$ y baja la resistencia al deslizamiento, especialmente en las láminas de espesores inferiores a 1,0 mm. Destaca que los ángulos de perfilado rectos favorecen la ocurrencia de fallo frágil, y recomienda estos ángulos no superen los 80° con respecto a la horizontal.



Ancho de la greca (b): Disminuir el ancho de la greca (b) manteniendo constantes el resto de los parámetros geométricos tiende a provocar una disminución de la resistencia al deslizamiento longitudinal, pero esta tendencia, no resulta uniforme para todas las alturas de lámina analizadas. Para todas las láminas se observa una tendencia a un pico de máxima resistencia al deslizamiento longitudinal cuando el ancho de la greca (b) y el peralte de la lámina (h) tienden a igualarse. De aquí que se sospeche que exista una relación estrecha entre el ancho de la greca (b) y la altura de la lámina (h).

El ingeniero Melchor López Ávila relaciona el ancho de la greca con el peralte de la lámina y comprueba que cuando el ancho de la greca (b) y la altura del perfil (h) se analizan combinadas, se puede valorar realmente el aporte de estas variables en la resistencia al cizallamiento. Mientras mayor es la relación h/b , mayor es el aporte del conjunto al cortante longitudinal, y es un factor altamente influyente. Esta tendencia se manifiesta en todas las láminas (de perfilado abierto) analizadas, independientemente de su geometría, y su influencia es más uniforme y acentuada en láminas de la gama alta de perfilado.

En sus conclusiones parciales (Melchor López, 2010) plantea una serie de aspectos respecto a la geometría de las láminas y las embuticiones o embocaduras que resultaron aportes a la teoría del deslizamiento:

- Las embuticiones con forma geométrica de cuña longitudinal son las que más aportan en la resistencia al deslizamiento en las losas compuestas. No obstante, las embuticiones con forma geométrica rectangular aportan casi tanta resistencia como las primeras y presentan la ventaja adicional de menor complejidad tecnológica para su conformación. Las embuticiones de forma geométrica redondeada no resultan eficientes estructuralmente ante el deslizamiento longitudinal.
- A través del análisis del tipo de fallo como variable de respuesta resalta que ángulos de perfilado muy esbeltos favorecen fallos de tipo frágil.
- Se acota que la simplificación asumida por las principales normativas internacionales de extrapolar hacia espesores superiores no debe aplicarse indiscriminadamente para espesores mayores que 1.2 mm.



- En los resultados obtenidos disminuye la influencia de la pendiente de embutición en su aporte a la resistencia al cortante longitudinal cuando se le compara con resultados obtenidos por otros autores en sus modelaciones numéricas. Esto evidencia una aproximación más real al fenómeno, respaldado en resultados experimentales. La mejora en la predicción se atribuye al modelo constitutivo de daño plástico implementado en el modelo numérico para simular el hormigón.
- Se acota que cuando la inclinación horizontal de las embuticiones con respecto a la horizontal sobrepasa los 80 grados, aumenta considerablemente la probabilidad de ocurrencia de fallos frágiles.
- Alternar el sentido del ángulo de inclinaciones de las embuticiones en una misma cara inclinada de la lámina, causa reducción de la resistencia al deslizamiento, lo cual parece estar relacionado con el cambio de puntos de interacción de una embutición a otra.
- Cuando el ancho de la greca y la altura de la lámina son aproximadamente iguales se verifica un máximo de resistencia al cortante longitudinal.
- Las embuticiones de forma geométrica rectangular resultan más eficientes estructuralmente al deslizamiento longitudinal cuando la relación entre la longitud y el ancho de las embuticiones (a/L) está alrededor de 3.
- Cuando la relación entre el paso de las embuticiones y la longitud de las embuticiones (L / P) está alrededor de 1.15 se da un máximo en la resistencia al deslizamiento longitudinal.
- Cuando la resistencia del hormigón de la losa es inferior a 20 MPa aumenta considerablemente la probabilidad de ocurrencia de fallos frágiles. Esta recomendación está especialmente dirigida a la utilización muchas veces indiscriminada de hormigones aligerados para construir losas compuestas.
-



- Tanto la elasticidad del hormigón como la del acero de la lámina son parámetros directamente proporcionales a la resistencia al deslizamiento longitudinal.
- El valor del coeficiente de Poisson del hormigón es directamente proporcional a la resistencia al deslizamiento longitudinal, en tanto el coeficiente de Poisson del acero de la lámina exhibe una relación de proporcionalidad inversa.
- La resistencia del acero de la lámina colaborante es intrascendente en la resistencia al cizallamiento longitudinal de las losas compuestas debido a que el deslizamiento ocurre lejos del límite de fluencia del acero de la lámina.
- Se exhiben resultados del primer estudio de rugosidad efectuado a nivel de modelación numérica, con el cual se revela que aumentar la rugosidad de la superficie de la lámina más allá del 35% puede resultar irracional si es necesario invertir en tratamientos químicos o mecánicos, ya que a partir de ese valor no es apreciable el aumento de resistencia al cortante longitudinal. Esta conclusión contradice parcialmente las deducciones de otros investigadores.
- Mediante la utilización de técnicas de inteligencia artificial se pueden procesar resultados cualitativos que identifican el tipo de fallo de la losa compuesta. Para el universo de losas compuestas analizado numéricamente por MEF se determina que las variables que más influyen en la fragilidad- ductilidad en el tipo de fallo de esta tipología estructural son, por su orden: la pendiente de las embuticiones, la inclinación horizontal de las embuticiones, la longitud de las embuticiones, el ancho de las embuticiones y la resistencia del hormigón de la losa.
- Se propone un sistema de embuticiones rectangulares que puede ser adaptado, con un mínimo costo de inversiones, en una lámina grecada de producción nacional, para que esta pueda funcionar con fines colaborante en las losas compuestas y no sólo como encofrado perdido, como suele utilizarse actualmente.



1.3.1.2 Criterios de Miguel Ferrer Ballester.⁷

- **Criterio sobre el espesor de la chapa**

En cualquier caso, incluso dentro del rango habitual de espesores (entre los 0,8 y 1,2 mm), la extrapolación lineal a espesores superiores al ensayado, que la normativa asume, está en el lado de la seguridad. Hay que tener en cuenta las simulaciones numéricas no incorporan el efecto de la erosión local del hormigón. Este fenómeno suaviza siempre la respuesta y es más pronunciado cuanto mayores son las fuerzas de interacción entre acero y hormigón, lo que puede contribuir a rebajar la dependencia cuadrática antes mencionada y a hacer más realista la aproximación lineal.

- **Criterio sobre el ángulo del perfilado**

La resistencia de los perfiles abiertos muestra una dependencia lineal con el ángulo de perfilado. La elevada pendiente de embutición modelizada en perfiles abiertos (45°) es la que permite llegar a 60° de perfilado sin que se produzca caída de resistencia ya que el ángulo de retención inicial es todavía de 15° en este último caso. Sin embargo, las pendientes de embutición reales difícilmente alcanzan el valor de 45°, por lo que la caída resistente real de este perfil se produce a ángulos de perfilado más elevados.

Es importante destacar que los perfiles cerrados incorporan pendientes de embutición muy inferiores a las del perfil abierto T80 (45°), por lo que no es de extrañar la diferencia de resistencia que muestran. De hecho, la resistencia del perfil T80, perfilado a 75° y con una pendiente de embutición de 35° (parecida a la del resto de perfiles), se reduce a la mitad. Evidentemente la elección del ángulo de perfilado es un compromiso entre la resistencia al deslizamiento (más resistente cuanto mayor es el ángulo) y el ahorro de material (se necesita menos cantidad de acero para cubrir la misma superficie cuanto menor es el ángulo).

- **Criterio sobre la profundidad de embutición**

En la flexión local de la chapa debida al efecto cuña de las embuticiones durante el deslizamiento, la profundidad de embutición no es ni más ni menos que desplazamiento transversal impuesto a los puntos de contacto de la chapa con el hormigón. La magnitud de



este desplazamiento es, en cada instante, proporcional a la fuerza normal necesaria para deformar la chapa, que, a su vez, dependiendo del coeficiente de fricción y la pendiente de embutición, se relaciona con la fuerza longitudinal asociada al deslizamiento. Su valor máximo, la profundidad de embutición, debe ser también un factor determinante de la resistencia máxima al deslizamiento. La relación entre profundidad de embutición y la fuerza máxima, no es normalmente lineal puesto que, a partir una profundidad de embutición relativamente baja, se inicia ya la fluencia del acero. En los perfiles abiertos, la profundidad de embutición está relacionada también con la capacidad de retención vertical, por lo que la influencia de ésta en la resistencia es mayor.

Al aumentar la profundidad de embutición se mejora también la capacidad de retención vertical retardando el instante de separación vertical, con lo que se consigue seguir aumentando la resistencia.

Ferrer Ballester indica determinadas recomendaciones para el Eurocodigo-4 y plantea:

La geometría de las chapas usadas en los ensayos debería ser lo más desfavorable admitido según las tolerancias de fabricación, considerándose desfavorables las siguientes condiciones:

- Ángulo de perfilado de los nervios: abierto.
- Pendiente de embutición: suave.
- Profundidades de embutición: pequeña.
- Distancia de las embuticiones a las aristas del perfilado: grande.
- Ancho de las embuticiones: pequeño.
- Distancia entre las embuticiones: grande.

En la anterior revisión de los criterios de ambos autores, se aprecia que Ferrer Ballester utiliza en sus ensayos perfiles con formas reentrantes los cuales se dijo al inicio del capítulo y en los criterios de Melchor López Ávila están en desuso por las consecuencias negativas debido a las tensiones que surgen en el bloque de hormigón debidas a esta forma.

Ferrer Ballester hace más referencia a las embuticiones y Melchor López relaciona además de estas embuticiones el ancho con el peralte de la chapa o lámina, demostrando que este



CAPÍTULO I: Estado del Arte. Sistema de losas compuestas.

factor es también determinante en el cálculo de las losas colaborantes y además plantea una relación óptima entre ambos factores.

1.3.1.3 Perfil geométrico de la lámina según manual de instalación steeldeck.¹⁷

Este manual ofrece la siguiente sección de la lámina, con el calibre en correspondencia con el espesor de ella. Aquí se muestra un ángulo de perfilado en sentido inverso al que da el ingeniero Melchor López, el cual se ha tomado como referencia, por lo que si este ángulo (114°) se resta a 180° , en esta lámina se obtendrá un ángulo de perfilado de 66° , que según los ensayos de Melchor López es adecuado (figura 1.5 y tabla 1.1)

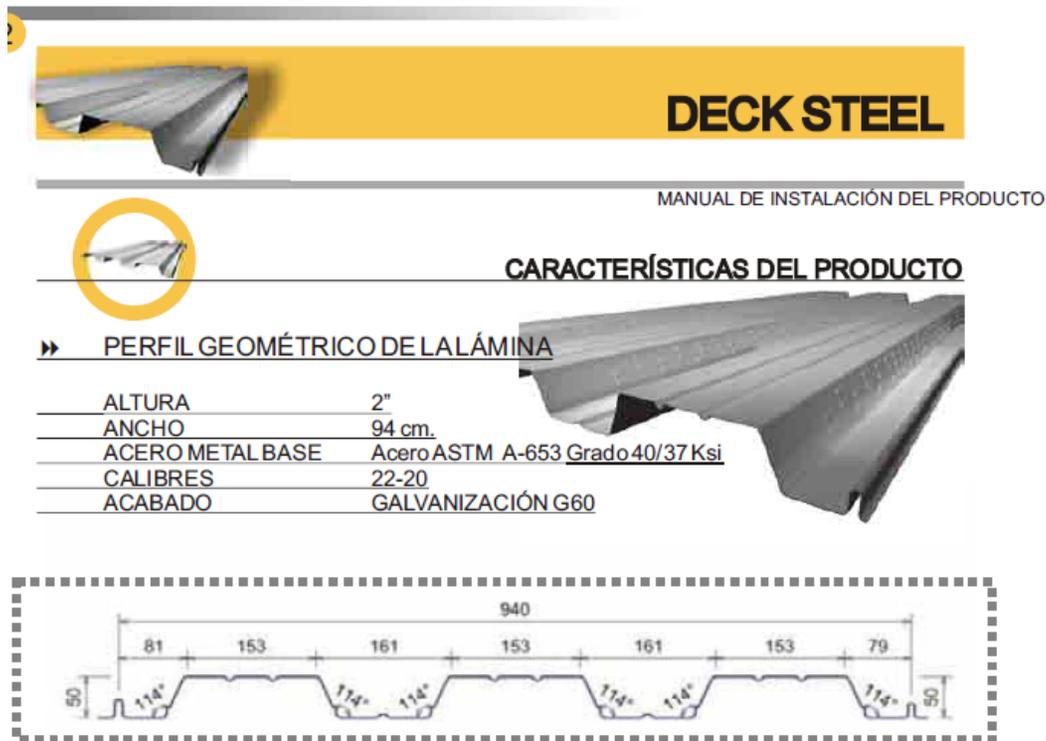


Fig. 1.5 Características geométricas de la lámina (Manual de instalación del producto decksteel, v3.0-febrero2010. Manual Técnico Instadeck).

En la tabla 1 aparecen las características de las láminas donde se muestra un espesor mínimo de 0.70 mm.

¹⁷Decksteel: Manual de instalación del producto decksteel, v3.0-febrero 2010 www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf edición, noviembre 2010. Manual Técnico Instadeck, consultado 10-2-14

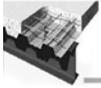


Tabla 2: Características de las láminas (Manual de instalación del producto decksteel, v3.0-febrero2010. Manual Técnico Instadeck)

REFERENCIA	CALIBRE	ESPESOR (mm)	PESO mL. (Kg.)	PESO (Kg./m ²)
DS50/95XX22G	22	0.70	6.93	7.29
DS50/95XX20G	20	0.90	8.84	9.31

*LONGITUDES SEGÚN LA NECESIDAD

1.3.1.4 Manual técnico de metal deck.¹⁸

En la tabla 2 se muestran las propiedades de la lámina según el manual técnico de metal deck donde aparece como espesor mínimo 0.75 mm, coincidiendo con el criterio del ingeniero Melchor López

Tabla 3: Propiedades de las láminas metal deck (manual técnico de metal deck)

PROPIEDAD DEL PANEL								
CALIBRE	ESPESOR	PESO	Is	Ss (+)	Si (+)	Ss (-)	Si (-)	As
	mm	kg/m	cm ⁴ /m	cm ³ /m	cm ³ /m	cm ³ /m	cm ³ /m	cm ² /m
22	0.75	6.97	47.41	17.85	19.11	15.25	17.19	9.37
20	0.90	8.89	57.22	21.34	22.96	19.52	20.75	11.37
18	1.20	11.83	76.20	28.23	30.48	27.90	28.55	15.05
16	1.50	14.70	95.32	35.00	37.96	34.78	36.72	18.99

1.4 Métodos de diseño.

Partiendo de la hipótesis que la lámina colaborante exhibe un comportamiento muy distinto al de las barras de acero embebidas en el hormigón debido a que la lámina interacciona solamente por una de sus superficies quedando libre la otra cara, algunos autores han desarrollado un método de estimación totalmente empírico para estimar la capacidad

¹⁸ [Manual técnico metaldeck -Acesco](http://www.acesco.com/.../manual%20técnico%20de%20metaldeck) www.acesco.com/.../manual%20técnico%20de%20metaldeck.(Consultado 10-2-14)



portante a la flexión de una losa compuesta a partir de conocer la geometría de la lámina colaborante y su sistema de embuticiones. El método está fundamentado en resultados de estudios experimentales ejecutados previamente, por lo que su aplicación se limita a las geometrías de perfiles y embuticiones evaluadas, que es donde se sustenta el método.⁴

Siguiendo este método aplicado a los experimentos numéricos se realizará el análisis del perfil fabricado en la Empresa MICALUM de Cienfuegos.

Con el fin de lograr un producto más competitivo, se recomienda estudiar la posibilidad tecnológica de:

- Aumentar el peralte de las láminas colaborantes (h) hasta al menos 55 mm.
- Disminuir el ancho de la greca inferior de la lámina (b); prefiriendo acercarse a la relación geométrica $h=b^4$

Se realizarán los cálculos para dos etapas de trabajo:

- Etapa de construcción
- Etapa de uso o utilización.

Es necesario tener en cuenta a la hora del diseño las posibles combinaciones de carga que puedan existir.

Etapas de construcción.

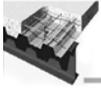
En esta etapa se realizará una comprobación a la lámina actuando solamente como encofrado y plataforma de trabajo, teniendo en cuenta las cargas de construcción

Etapas de uso o utilización.

Se realizará para la sección compuesta de la lámina y el hormigón endurecido, considerando la estructura trabajando como tal.

1.4.1 Criterios del ingeniero Luis Hernández Rodríguez.

Existe un criterio unánime en la determinación de la sección transversal de cálculo de las vigas compuestas. De acuerdo a la orientación de las nervaduras de las láminas existen dos casos:



Cuando las láminas tienen las nervaduras perpendiculares al eje longitudinal de la viga, no se considera el hormigón debajo de la parte superior de la lámina.^{19, 20}

Cuando las láminas tienen las nervaduras paralelas al eje longitudinal de la viga, el hormigón debajo de las nervaduras debe ser incluido en la determinación de las propiedades de la sección. Las láminas, en la parte sobre las vigas, podrán cortarse a lo largo de la canal y separarse para aumentar el volumen de hormigón en contacto con el ala superior.^{21, 22}

Algunos autores fundamentan hipótesis como:

- a) Se desprecia la resistencia a tracción del hormigón.^{23, 24}
- b) Las fuerzas de tracción y compresión están en equilibrio alrededor del eje neutro plástico.²⁵
- c) La losa y la lámina están conectadas continuamente a la viga metálica en toda su longitud.
- d) La losa, la lámina y la viga metálica no se separan verticalmente en ningún punto a lo largo de la luz.²⁶

¹⁹ Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members: American Iron of Steel Institute August 1986.

²⁰ Load and resistance factor design (LRFD): American Institute of Steel Construction 1986.

²¹ Load and resistance factor design specification for structural steel buildings: American Institute of Steel Construction Inc., 1993.

²² ASCE: Report of ASCE Task Committee on Composite Construction. Composite Steel.-concrete construction, Journal of the Structural Division, 100 (ST5), 1085-1122, mayo 1974.

²³ British Standards Institution: Design of Concrete Structures, BSI, Milton Keynes, DD EVN 1992-1-1, Eurocode 2, Part 1.4, The use of Lightweight Aggregate concrete with Closed Structure, 1994.

²⁴ Canadian Institute of Steel Construction: CAN3-S16.1-M84, Steel Structures for Buildings. Limitstatedesign, Canada, 1985.

²⁵ Cadenas I.: La corrosión en las construcciones, Universidad de Camagüey, 2000.

²⁶ Bresler B. y otros: Diseño de estructuras de acero, Ed. Limusa, México, 1978.

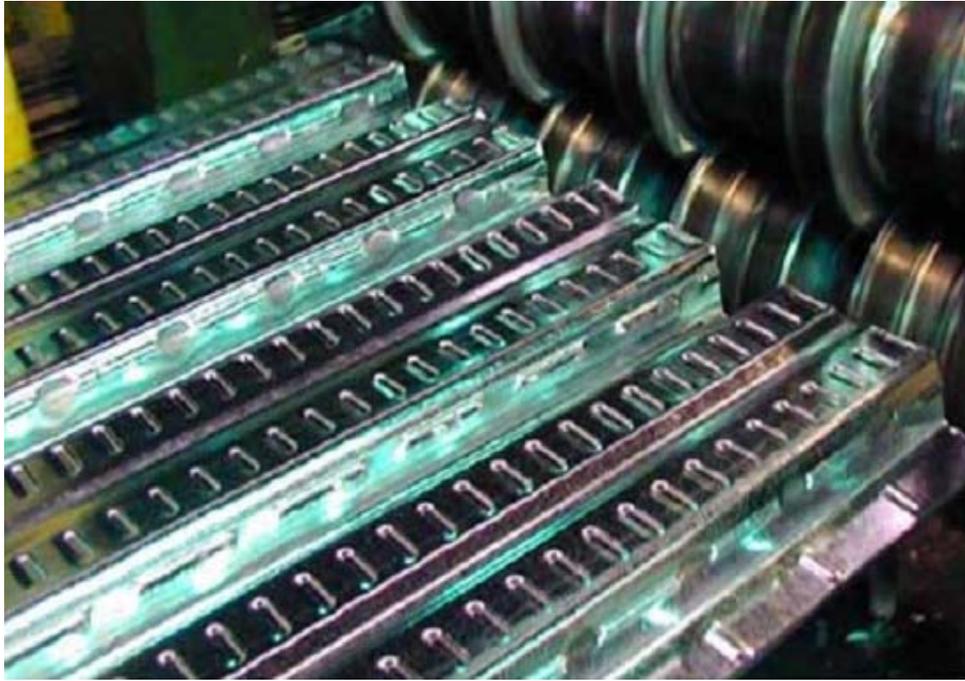


Fig. 1.6 Láminas con embuticiones de acero para usar en losa compuesta (Bresler B, 1978).



1.5 Aplicaciones prácticas.

A partir de los resultados obtenidos en los estudios paramétricos desarrollados anteriormente, y de la base de datos creada, se proponen expresiones analíticas que sustituyen la modelación numérica o los métodos experimentales a fin de estimar la capacidad resistente al deslizamiento longitudinal en las losas compuestas con lámina colaborante. Es necesario acotar que las expresiones propuestas tienen limitada su aplicación a una determinada gama geométrica de láminas y sus sistemas de embuticiones (láminas de sección transversal simétrica, perfilada abierta y embuticiones de forma geométrica rectangular ubicadas en el ala inclinada de las láminas colaborantes).⁴

En el caso de la lámina a utilizar en este trabajo se le analizará específicamente su sección debido a que esto no ha sido realizado con anterioridad, orientándose a obtener una sección de perfil abierto.

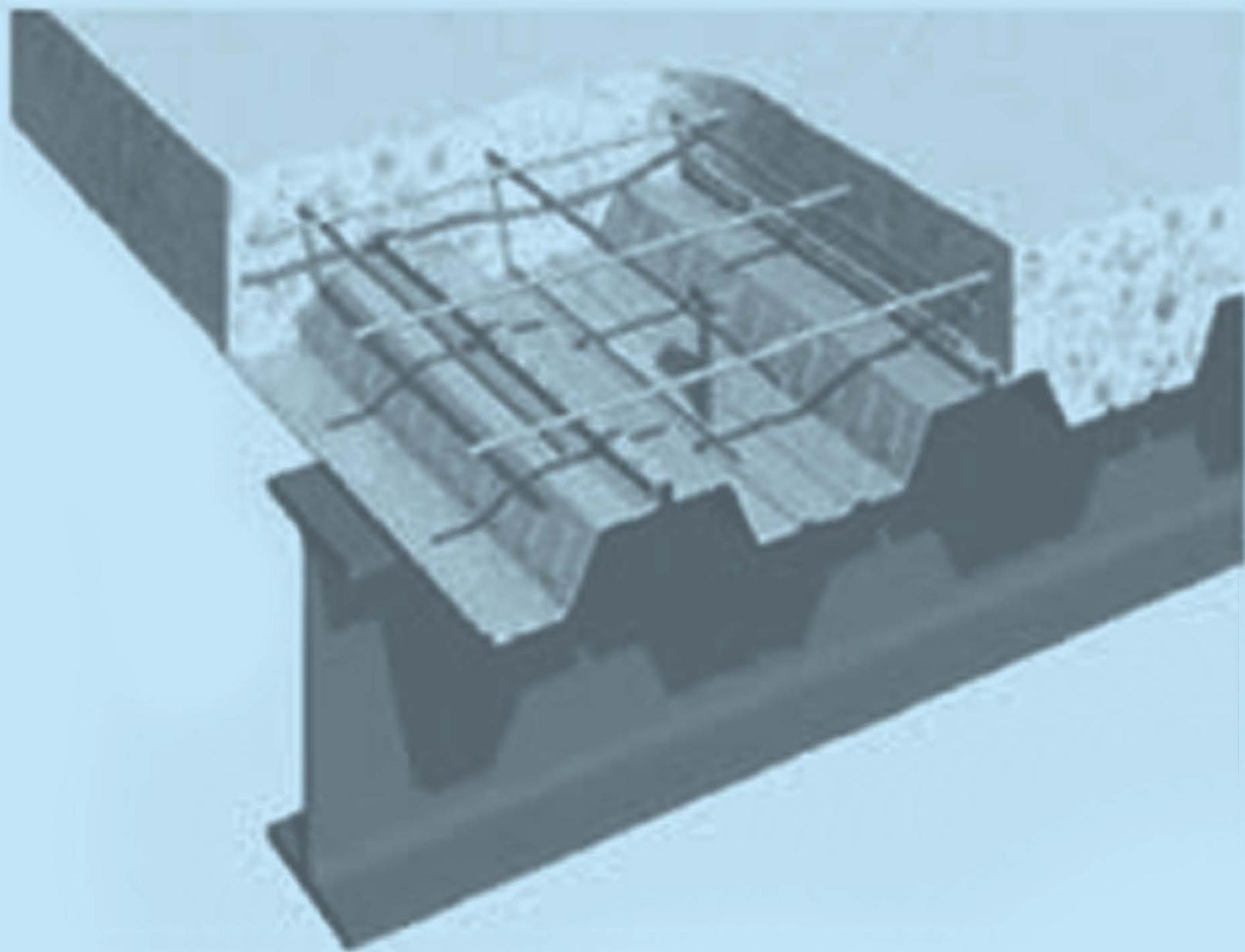
Partiendo de la geometría de la lámina se han de proponer unas embuticiones con la geometría rectangular recomendada y una profundidad no inferior a 2 mm, pues emplear láminas con sistemas de embuticiones deficientes equivale a desaprovechar el trabajo compuesto que realmente pueden ofrecer estas tipologías estructurales cumpliendo en estos casos la lámina la función de encofrado perdido, existiendo desperdicios de materiales.⁴

1.6 Conclusiones del Capítulo.

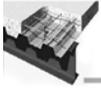
1. La bibliografía con que se cuenta para este tema se considera escasa, existen diversos catálogos y manuales que brindan las características de determinadas láminas o perfiles, pero se ha encontrado relativamente poca bibliografía con resultados de ensayos y pruebas.
2. Con la revisión bibliográfica se ha determinado usar para este trabajo los criterios tenidos en cuenta por el ingeniero Melchor López Ávila por la importancia que tiene relacionar el ancho con el peralte de la lámina y la profundidad y geometría de las embuticiones.



3. Para que la lámina y el hormigón trabajen de conjunto y esta pueda cumplir la función de acero colaborante se requieren determinadas características en la geometría de estas láminas.
4. Se tendrá en cuenta para el diseño el trabajo de la lámina en la etapa de construcción y en la etapa de uso o utilización.
5. El fallo por deslizamiento horizontal se contrarresta con la presencia de embuticiones que serán de sección rectangular, con no menos de dos milímetros de profundidad, distribuidas en dos sentidos.
6. El perfilado a proponer será abierto con embuticiones mínimas de 2 mm, relación cercana entre b y h, y ángulo menor de 90°.



Capítulo II



Capítulo 2: Propuesta de la sección y análisis de trabajo del perfil de forma independiente.

2.1 Introducción.

Para lograr soluciones más prácticas y económicas en la construcción de entresijos y cubiertas en la provincia y que estas puedan ser generalizadas en todo el país, se ha realizado una propuesta a la empresa MICALUM en Cienfuegos de elaborar una lámina con una sección adecuada para cumplir la función de lámina colaborante trabajando conjuntamente con el hormigón.

El criterio para la selección del perfil se tomó de acuerdo a las diferentes variantes posibles según la revisión bibliográfica realizada, adoptando la solución óptima que la misma muestra además de haberse tenido en cuenta las características de la empresa para la elaboración de dicho perfil para imprimirles las dimensiones y propiedades mecánicas con el fin de utilizarlos en entresijos y cubiertas como lámina colaborante.

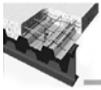
2.2 Perfil actual de la Empresa MICALUM.

En la actualidad la Empresa MICALUM realiza perfiles metálicos conformados en frío, pero que los mismos no cuentan con las condiciones requeridas para el trabajo como lámina colaborante, presentando las siguientes características según el catálogo de MICALUM²⁷

Perfil estructural acanalado y engargolado en obra

- Sin limitaciones de longitud debido a que se fabrica de una sola pieza (desde el caballete hasta el canalón).
- Puede instalarse en pendientes hasta un 2%.
- Permite la instalación de materiales aislantes.

²⁷ MIC SSR 18 MICALUM Cienfuegos



La figura 2.1 muestra la forma de la sección transversal de esta lámina con sus dimensiones.



Fig. 2.1 Perfil MIC SSR 18 (catálogo de MICALUM Cienfuegos).

Este perfil no presenta las características requeridas para que pueda ser una lámina colaborante, no presentando la relación óptima entre h y b , las dimensiones de las grecas no son efectivas además de no presentar las embuticiones o depresiones necesarias para eliminar el cortante horizontal.

Debido a lo anterior fue necesario analizar una sección adecuada, que cumpla con los parámetros requeridos y que pueda ser elaborada con la tecnología de la empresa.

2.3 Sección del perfil propuesta para realizar en MICALUM.

2.3.1 Configuración geométrica de las láminas.

En el mundo son varios los trabajos que se han basado en métodos experimentales y/o numéricos, en el estudio de los distintos parámetros geométricos que caracterizan la geometría de las láminas colaborantes. A continuación se expondrá un resumen de las principales conclusiones a las que se ha arribado. Es unánime la consideración de los autores consultados de que a medida que aumenta el espesor de la lámina (Figura 2.2), aumenta la resistencia al deslizamiento longitudinal, y señalan una relación cuadrática de proporcionalidad directa. (Ferrer 2006; Johnson, 2006; Jolly&Zubair, 1987)^{16, 28, 29}

²⁸Johnson, R. P. (2006). Models for the Longitudinal Shear Resistance of Composite Slabs, and the use of non-standard test data. In R. T. Leon & J. Lange (Eds.), Composite Construction in Steel and Concrete V (Vol. V, pp. 157-165). Virginia: ASCE.

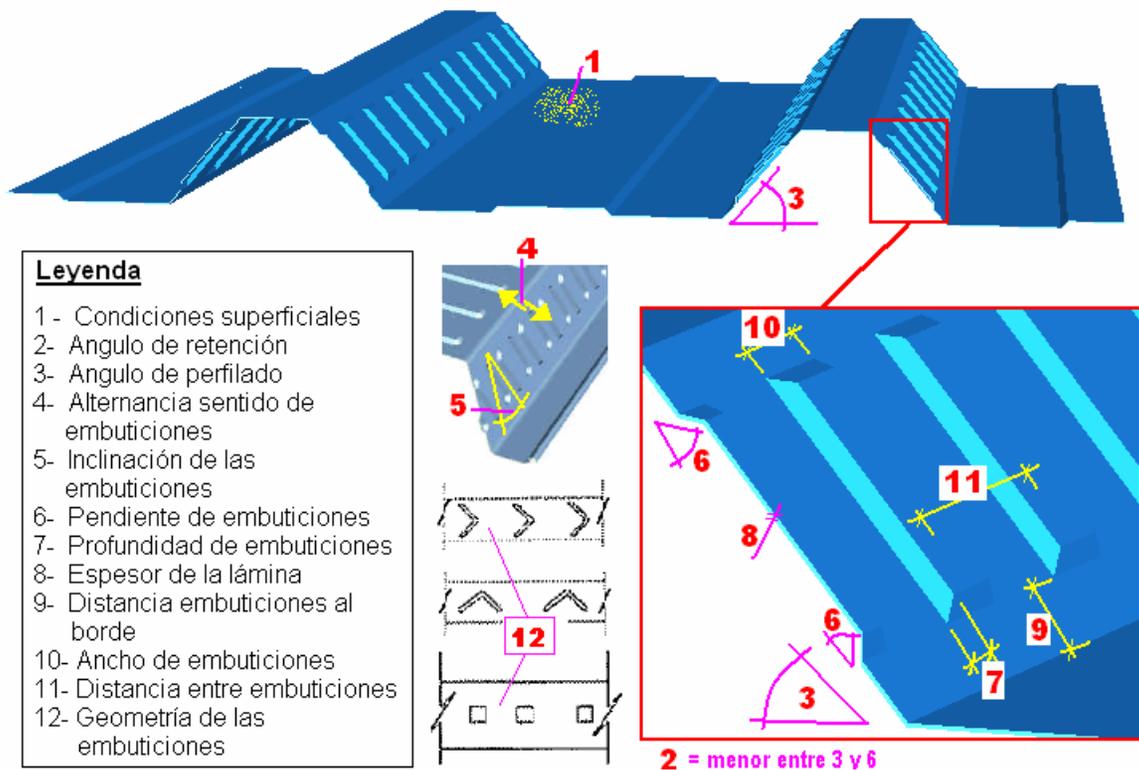
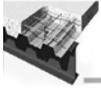


Figura 2.2 Parámetros que influyen en el comportamiento estructural de las losas compuestas (Ing. Melchor López Ávila 2010).

Según Ferrer a medida que aumenta el ángulo de perfilado, aumenta la resistencia al cortante longitudinal. Las ventajas de un perfilado en ángulo abierto no son resistentes sino de ahorro de material y de espacio de apilado para el transporte del producto.

Cuando aumenta la altura del perfil (Figura 2.2), lo hace también la longitud del perfilado lateral, por lo que la fuerza vertical que el hormigón ejerce provoca un mayor pandeo en dicho perfilado. De aquí que la fuerza máxima disminuye a medida que aumenta la altura del perfil.

²⁹Jolly, C., &Zubair, A. (1987). Efficiency of Shear-Bond Interlock Between Profiled Steel Sheeting and Concrete. Composite Steel Structures. Advances, Design, and



Según (Abadal&Abadal, 2003) mientras mayor es el ancho de la greca (Figura 2.2), menor es la fuerza máxima que soporta la losa.

Esto es efecto de que cuando las grecas superiores son más pronunciadas, menor es la rigidez de la parte superior del nervio.³⁰

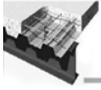
De acuerdo por lo evaluado por el ingeniero Melchor López Ávila, en todos los casos los parámetros se han analizado considerándolos individualmente, pero no se ha evaluado la relación que pudiera existir al establecer combinaciones de variables que se relacionan entre sí, como la que resulta de dividir el ancho de las grecas entre la altura del perfil.

En los análisis realizados por el ingeniero Ramón Vicente Fernández se han considerado cada una de las partes que componen la chapa, el ala inferior, el ala superior y el alma. Así mismo se ha considerado la posibilidad de que las chapas admitan redistribución plástica de tensiones entre estas distintas partes de modo que trabajen en conjunto en la transmisión de esfuerzos rasantes. Se ha considerado una superficie más como susceptible de fallar por esfuerzo rasante, la superficie horizontal coincidente con la fibra superior de la chapa y compuesta tanto por el ala superior como por el hormigón. Tratándose de elementos metálicos de espesor reducido existe la posibilidad de que se produzca la abolladura de la chapa especialmente en el caso en que se produzca el despegue del hormigón en ciertas zonas. Puede ser necesario limitar la compresión admisible en la chapa.¹

2.3.2 Configuración geométrica de las embuticiones.

En la tesis doctoral del ingeniero Melchor López Ávilase modelan distintas formas geométricas de embuticiones para determinar cuál responde con mayor eficiencia estructural ante el cizallamiento longitudinal. Para poder hacer una comparación en igualdad de condiciones, todas las geometrías de embuticiones se diseñan cumpliendo con la misma área y volumen geométricos.⁴

³⁰Abadal, I., & Abadal, S. (2003). Análisis del comportamiento de las chapas nervadas de acero para losas mixtas. Tesis de grado. Unpublished Proyecto Final de Carrera, Universidad Politécnica de Cataluña., Barcelona, España.



Del análisis efectuado resultó que la forma de cuña longitudinal es la más eficiente, seguida de la forma recta. No obstante, la dificultad tecnológica para construir la forma de cuña es mayor que para construir la forma recta y las diferencias en aporte resistente no son tan significativas.

De los resultados obtenidos anteriormente se concluye que la embutición con forma geométrica rectangular representa una buena solución estructural y además tecnológicamente sencilla, por lo cual los estudios siguientes se centran en caracterizar los parámetros que definen las embuticiones rectangulares.

La sección que se propone a la Empresa MICALUM será de un perfil grecado con las características que se indican a continuación. Según lo expuesto por el ingeniero (Melchor López Ávila) y las condiciones de la Empresa MICALUM en cuanto a la tecnología que presenta para realizar la modificación de los perfiles se adoptan las siguientes dimensiones para las embuticiones (Fig. 2.3):

- Forma geométrica: rectangular sin alternancia.
- Longitud (L): 40 mm.
- Ancho (a): 15 mm.
- Paso (P): 40 mm.
- Profundidad (d): 2 mm
- Pendiente de las paredes (β): 50°
- Ángulo de inclinación de las embuticiones (γ): 60°

Se adopta una longitud (L) de 40 mm por ser estar dentro de los parámetros que indica el ingeniero Melchor López Ávila y la tecnología que el laminador de la Empresa MICALUM permite como máxima, lo mismo sucede con el resto de los parámetros, todos dentro de los rangos que se exponen por el mencionado autor para garantizar el trabajo conjunto con el hormigón como losa colaborante evitando el fallo frágil.

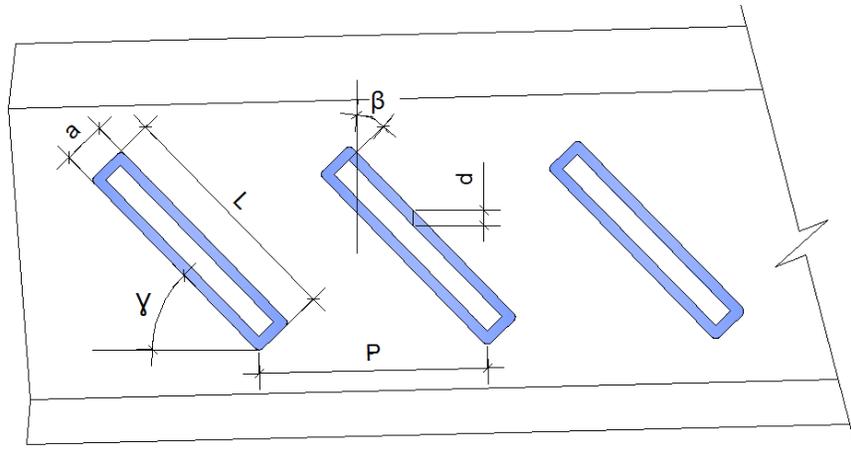
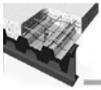


Fig. 2.3: Parámetros geométricos recomendados para las embuticiones en las láminas propuestas a fabricar en MICALUM.

Según demuestra el ingeniero Melchor López Ávila con la realización de sus ensayos las embuticiones con inclinación sin alternancia aumenta la resistencia a cortante al deslizamiento, pues alternarlas puede significar una disminución de esta resistencia y sospecha que puede ser debido al cambio de puntos de interacción de cada embutición⁴ (Fig. 2.4)

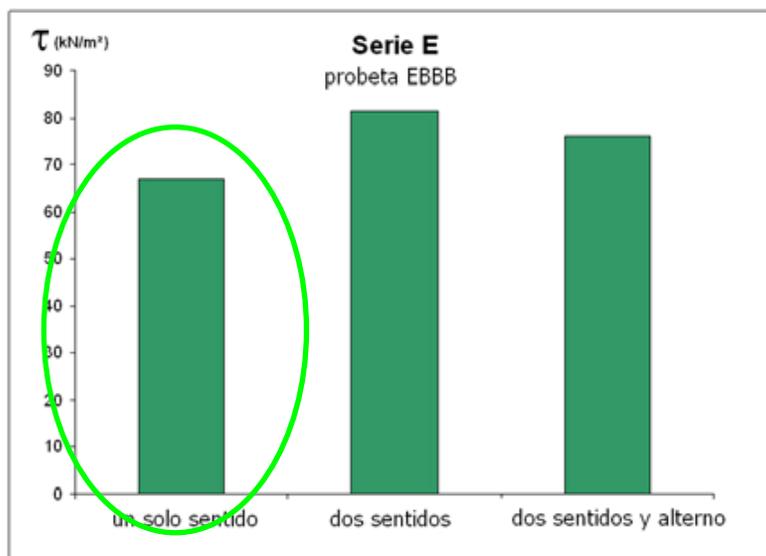
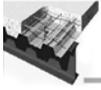


Fig. 2.4: Análisis cuantitativo de la alternancia del sentido de las embuticiones (Ing. Melchor López Ávila).



2.3.3 Configuración geométrica del perfil.

En la decisión de elaborar la propuesta de la lámina en general, se ha determinado la utilización por esta empresa de láminas de perfilado bajo con peraltos desde 35 hasta 75 mm. En el dimensionamiento se aprovecha la posibilidad que dichas láminas alcancen un peralto total de 64 mm, el cual es el máximo en las láminas elaboradas actualmente en esta empresa.

En la formulación de las dimensiones se han tenido en cuenta los rangos investigados y recomendados en la tesis del ingeniero Melchor López Ávila y los parámetros recomendados en la norma cubana (norma ramal) NRMC 082:2004.

La figura 2.5 muestra la identificación de los diferentes parámetros para la configuración geométrica de la lámina, en los que para la nomenclatura se ha utilizado la que aparece en la norma cubana, tomando la indicada por Melchor López Ávila para las nuevas variables utilizadas en su análisis.

En este aspecto además se han tenido en cuenta las recomendaciones para el perfeccionamiento de la norma cubana hechas por el ingeniero Melchor López Ávila.

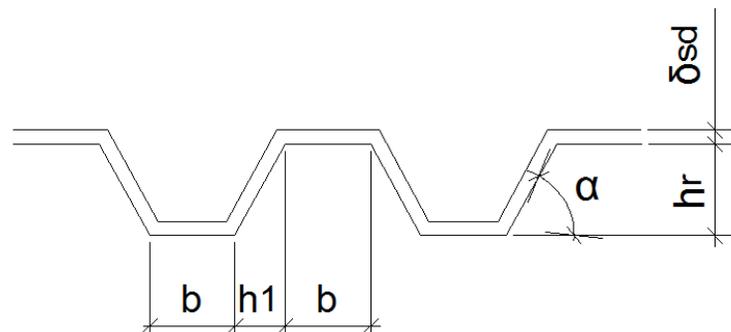
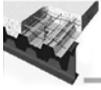


Fig. 2.5 Parámetros geométricos de la propuesta de lámina.

Cada uno de estos parámetros y los criterios para su determinación se explican a continuación:

- Espesor de la lámina (δ_{sd}): 0.70 mm.



En la norma cubana se especifica un espesor mínimo de 0.75 mm, pero el ingeniero Melchor López Ávila que demuestra que cuanto mayor es este parámetro, mayor será la fuerza necesaria para vencer la resistencia al cortante o cizallamiento entre la lámina y el bloque de hormigón, recomienda que en esta norma puede reducirse δ_{sd} al valor de 0.70 mm como es estipulado en la norma europea.

- Ángulo de perfilado (α): 60°

La elección del ángulo de perfilado se ha basado en el equilibrio entre resistencia al deslizamiento y economía del material señalado por Melchor López Ávila, y la recomendación que este valor no supere los 80° debido a que los perfiles cerrados con valores de 90° o cercanos a este, con $h_1=0$, la resistencia al cizallamiento se reduce y existe la tendencia al fallo frágil. Para determinar este ángulo de perfilado de 60° se han tomado de las tablas de tensión vs ángulo de perfilado para perfiles de gama baja una relación entre ancho y peralte del perfil (b/h_r) cercana a esta propuesta de lámina para la Empresa MICALUM, evaluándose el valor del ángulo más favorable para la ejecución de la lámina. La figura 2.6 muestra este análisis.

$$\text{Perfil propuesto para MICALUM: } \frac{b}{h_r} = \frac{60 \text{ mm}}{64 \text{ mm}} = 0.9375$$

$$\text{Perfil analizado por Melchor López Ávila: } \frac{b}{h_r} = \frac{23.33 \text{ mm}}{35 \text{ mm}} = 0.6666$$

Es preciso destacar que como se puede ver en la comparación el perfil propuesto tiene mayores dimensiones en los parámetros altura (h_r) y ancho (b), además la relación entre ellos dos es más cercana al valor unitario en el perfil propuesto, siendo el espesor de la lámina igual para ambos casos.

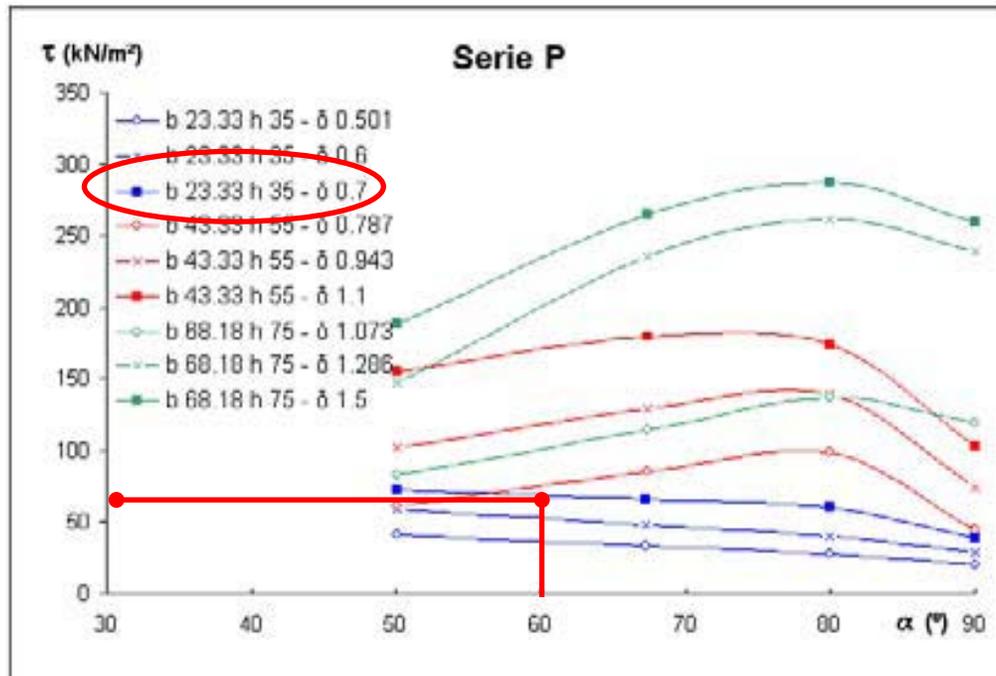
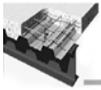


Fig. 2.6: Gráfico de τ (resistencia a cortante al deslizamiento vs α (ángulo de perfilado) para perfiles de gama baja según el ingeniero Melchor López Ávila.

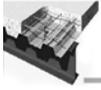
En la figura anterior se demuestra que para un ángulo de perfilado de 60° en este perfil la tensión de cortante es de 70 KN/m^2 , lo que implica que en el perfil con mayores dimensiones, relación entre ancho y peralte (b/h_r) e igual espesor de lámina aumentará esta tensión lo que implica un aumento de la resistencia al deslizamiento.

- Ancho de la greca (b): 60 mm.

Este ancho ha sido tomado aprovechando las posibilidades de fabricación con la tecnología de la empresa para garantizar una relación cercana al valor unitario entre el ancho (b) y el peralte (h_r), demostrado por el ingeniero Melchor López Ávila, que un valor cercano a este es el valor óptimo, debido a que los ensayos realizados mostraron una tendencia a un pico de máxima resistencia al deslizamiento longitudinal cuando el ancho de la greca (b) y el peralte de la lámina tienden a igualarse.

- Peralto de la lámina (h_r): 64 mm

Actualmente en la Empresa MICALUM el perfil MIC SSR 18 se elabora con un peralte máximo de 64 mm, variante que fue aprovechada para lograr cumplir con mayor facilidad con



las condiciones de los restantes parámetros, así como facilitando la construcción de las embuticiones. También se cumple con la conclusión del ingeniero Melchor López que al disminuir el peralte disminuye la resistencia al deslizamiento longitudinal.⁴ Además se cumple con un mayor valor con la recomendación de este autor para el mejoramiento de las láminas construidas en METUNAS, la cual él recomienda aumentar el peralte hasta 55 mm, valor menor este que los 64 mm propuestos para la lámina propuesta para MICALUM.

2.3.4 Comparación de las conclusiones del ingeniero Melchor López con los parámetros de las embuticiones y la lámina.

En la tabla 1 se relacionan los valores de los parámetros recomendados por el ingeniero Melchor López Ávila y los estimados para la lámina propuesta para la realización en la Empresa MICALUM, finalmente se realiza una comparación que mostrará si los valores propuestos son correctos.

Para ambos casos se ha estudiado en la Empresa las posibilidades de realización de la lámina con la tecnología que existe actualmente, por lo que los parámetros en ambos casos (lámina y embuticiones) se adaptaron a estas posibilidades de adoptando dimensiones dentro de los parámetros que recomienda Melchor López Ávila.

Las embuticiones propuestas serán en un sentido, estas proporcionan menor resistencia a cortante al deslizamiento, pero actualmente las posibilidades de la Empresa para realizar las embuticiones es esta variante más factible.

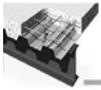


Tabla 1. Comparación de los valores para los parámetros recomendados por el ingeniero Melchor López Ávila y los indicados para la propuesta del perfil para la Empresa MICALUM.

Criterios de Melchor López Ávila	Parámetros de las embuticiones y el perfil	Coincidencia
Se acota que cuando la inclinación horizontal de las embuticiones con respecto a la horizontal sobrepasa los 80 grados, aumenta considerablemente la probabilidad de ocurrencia de fallos frágiles. ⁴	$(\gamma) : 60^\circ < 80^\circ$	Cumple
Cuando el ancho de la greca y el peralte de la lámina son aproximadamente iguales se verifica un máximo de resistencia al cortante longitudinal. ⁴	$\frac{b}{h_r} = \frac{60 \text{ mm}}{64 \text{ mm}} = 0.9375$	Cumple
Las embuticiones de forma geométrica rectangular resultan más eficientes estructuralmente al deslizamiento longitudinal cuando la relación entre la longitud de las embuticiones y el ancho de las embuticiones (L / a) está alrededor de 3. ⁴	$\frac{L}{a} = \frac{40}{15} = 2.67$: Valor cercano a 3	Cumple
Cuando la relación entre el paso de las embuticiones y la longitud de las embuticiones (P / L) está alrededor de 1.15 se da un máximo en la resistencia al deslizamiento longitudinal. ⁴	$\frac{P}{L} = \frac{40}{40} = 1.0$: Valor cercano a 1.15	Cumple



El ingeniero Melchor López Ávila en su tesis para el grado científico de doctor muestra una tabla que relaciona los parámetros de las láminas según las combinaciones de diferentes variables, apareciendo valores recomendados cercanos a los de la lámina propuesta en este trabajo para realizar en la Empresa MICALUM. Esta tabla se muestra a continuación, señalándose la combinación más cercana para los valores de los parámetros del perfil propuesto.

Tabla 2. Selección de relaciones entre b y h_r (Melchor López Ávila).

Selec. b-h	b (mm)																					
h (mm)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	
38.1					X																	
42											X											
46																X						
50.8																	X		X			
55																X		X				
63.5																X					X	X
67								X														
70						X	X												X			X
76.2						X	X								X			X				
80																						
85																						
90																						
95																						
100								X														
110																						
120																						
130																						
140																						
150																						
160																						
165								X														

X Significa la relación entre b y h_r de una lámina comercial.

 ñn recomendada por estudio numérico.

2.3.5 Configuración geométrica definitiva de la lámina propuesta.

En la figura 2.7 se muestra la sección del panel de la lámina de acero con las dimensiones obtenidas y su ancho efectivo. Todas estas dimensiones están dadas en milímetros.

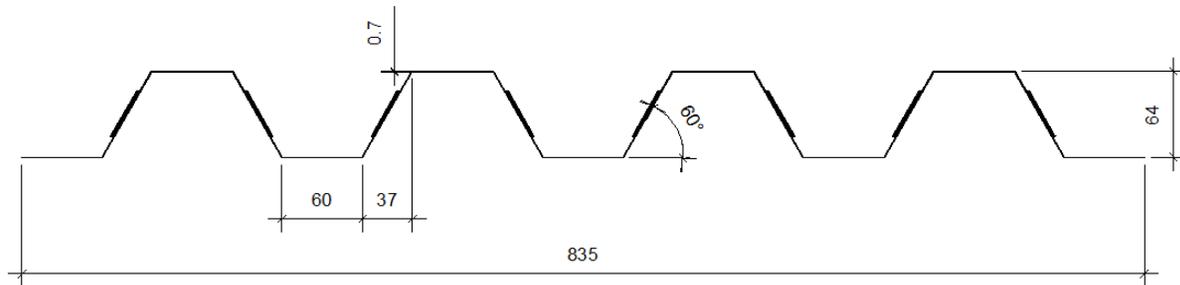


Fig. 2.7: Sección del panel de la lámina propuesta a construir en la Empresa MICALUM.

2.3.6 Características mecánicas de la lámina propuesta.

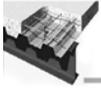
En la tabla 3 aparecen las características mecánicas de esta lamina, determinadas por métodos de resistencia de materiales teniéndose en cuenta el trabajo independiente de dicha lámina, es decir sin el bloque de hormigón. En el capítulo 3 se ofrecerán las características mecánicas teniendo en cuenta los diferentes espesores de losa que puedan utilizarse de acuerdo a las luces de trabajo de la losa compuesta.

Tabla 3. Características mecánicas de la lámina propuesta a MICALUM.

Calibre	Espesor (mm)	Espesor (Pulg.)	Peso (Kg/m)	Área (cm ²)	I _x (cm ⁴)	W _x (cm ³)
22	0.7	0.0276	6.20	7.90	11.63	6.08

En la tabla anterior se ha incluido la columna del espesor en pulgadas para establecer de forma más fácil una comparación de esta lámina obtenida con diferentes láminas utilizadas en este sistema y que aparecen en los catálogos consultados en la revisión bibliográfica.

Las propiedades mecánicas de esta lámina se han obtenido a través de cálculos teniendo en cuenta el peso del acero de 7850 Kg/m³, el espesor del perfil y las dimensiones del mismo.



2.3.7 Especificaciones técnicas para el perfil.

El acero será de baja aleación y laminado en frío, se han considerado en los cálculos la tensión de fluencia $F_y = 207$ MPa, la tensión de rotura $F_u = 338$ MPa según se tienen los datos de los catálogos de MICALUM y METUNAS.

El límite de elasticidad para el acero de los perfiles se toma como $E = 2.1 \cdot 10^5$ MPa y el peso igual a 7850 Kg/m³

2.4 Comparación con diferentes perfiles existentes.

En este epígrafe se realiza una comparación con diferentes tipos de láminas utilizadas para la tecnología de losa colaborante las cuales se utilizan a nivel mundial con el aval de diferentes firmas reconocidas.

Podrán compararse las características geométricas del perfil propuesto con las de estas láminas propuestas para ser realizadas en la Empresa MICALUM en la provincia Cienfuegos.

2.4.1 Lámina grecada METUNAS.

Actualmente en esta fábrica se elaboran perfiles grecados denominados teja grecada trapezoidal. Según el catálogo de dicha Empresa sus aplicaciones son en:

- Cubiertas y fachadas simples.
- Soluciones de sándwich
- Deck

Este último aspecto se refiere al sistema de losa colaborante conocido mundialmente por su nombre en inglés **STEEL DECK**. En la tabla 4 se pueden ver las características mecánicas de este perfil.

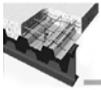


Tabla 4. Teja grecada trapezoidal (METUNAS). Valores estáticos. Características mecánicas.

ESPESOR (mm)	PESO (Kg/m)	ÁREA (cm²)	INERCIA (cm⁴)	MODULO RESISTENTE (cm³)
0.6	5.88	7.50	9.21	4.69
0.7	6.87	8.75	11.12	5.74
0.8	7.85	10.00	12.31	6.46
1.0	9.80	12.50	16.07	8.73

La mayor inercia y el mayor modulo resistente del perfil propuesto en este trabajo se debe a que este presenta un peralto mayor que el del perfil de METUNAS, así como otros aspectos a favor como la relación cercana a uno entre ancho de la greca y peralto de la lámina y la presencia de embuticiones. Un aspecto desfavorable se aprecia en el peso por metro lineal y al área de la sección transversal, debido a que el ancho efectivo de la lámina propuesta es menor que el del perfil de METUNAS. No obstante el parámetro peso puede ser ligeramente favorable en el trabajo conjunto con el bloque de hormigón.

2.4.2 Steel Deck de Ostrilion.

Este perfil presenta características en cuanto a ancho efectivo similares al propuesto en el presente trabajo, aunque es de destacar que lo aventaja en el peralto que en este caso es de 76 mm. La figura 2.8 muestra la sección de este panel.



Fig.2.8. Steel Deck de Ostrilon (www.ostrilon.com/Steeldeck/steeldeck.pdf).

La tabla 5 muestra las características mecánicas de estos perfiles

Tabla 5. Características de los perfiles Steel Deck de Ostrilon

Calibre	esp mm	w kg/m ²	As mm ² /mm	I mm ⁴ /mm	Wp mm ³ /mm	Wn mm ³ /mm	Rb kN / m	fVn kN / m	Studs u / m
22	0,71	8,8	1,053	1017	26,00	27,50	18,50	27,10	1,32
20	0,89	10,9	1,320	1274	32,60	34,50	25,60	47,90	1,86
18	1,20	14,6	1,839	1776	45,36	48,15	40,00	80,30	2,79
16	1,59	19,5	2,370	2290	58,50	62,10	61,50	108,90	3,99

Se realizará la comparación con la lámina o panel del calibre 22 correspondiente al espesor de 0.71 mm similar al espesor de la lámina o perfil propuesto en este trabajo.

Esta es una lámina superior en todos los parámetros, debido a su peralte de 76 mm y su aparente relación cercana a $h_r=b$, se especifica aparente por no contarse en el catalogo revisado en el sitio consultado con la dimensión correspondiente al ancho b de la greca, este se ha estimado de acuerdo al ancho efectivo y la apreciación visual del ancho de la greca con respecto al peralte indicado.

2.4.3 Steel Deck. Manual de instalación del producto (www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf EDICIÓN, NOVIEMBRE 2010. Manual Técnico Instadeck).¹⁷

Es un perfil con características similares al propuesto en este trabajo, presenta un ángulo de perfilado (α) de 66°, pero el peralte no supera los 50 mm, de acuerdo a las recomendaciones del ingeniero Melchor López esta dimensión debe ser mayor para garantizar un mejor trabajo conjunto como losa colaborante con el hormigón. También se puede comprobar que la relación ancho de la greca y peralte (b/h_r) tampoco cumple con las recomendaciones del ingeniero Melchor López, debido a que su valor dista considerablemente de uno.



En la figura 2.9 se dan las características geométricas de esta lámina, aquí no aparecen las características mecánicas que permitan establecer una relación con el perfil propuesto

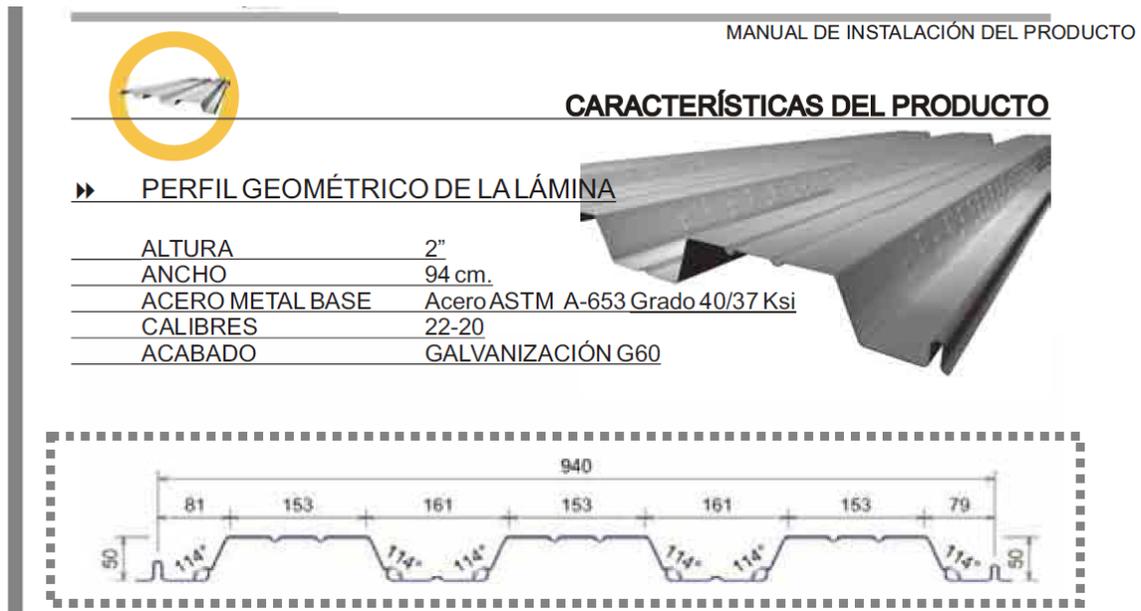


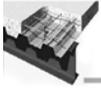
Fig. 2.9. Características de la lámina steeldeck (según www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf EDICIÓN, NOVIEMBRE 2010. *Manual Técnico Instadeck*).

2.5 Comparación del perfil propuesto con el perfil propuesto por Melchor López Ávila para fabricar en la Empresa METUNAS.

En este epígrafe se hace una comparación respecto a los parámetros de las embuticiones y la geometría de la lámina o perfil propuesta por el ingeniero Melchor López Ávila para fabricar en Las Tunas y los parámetros asignados a la propuesta de perfil a construir en la Empresa MICALUM en Cienfuegos.

2.5.1 Propuesta y recomendaciones del ingeniero Melchor López Ávila para la lámina grecada de METUNAS.

En su tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas el ingeniero Melchor López Ávila propone adaptar un sistema de embuticiones a la teja grecada



trapezoidal P 4 250-40 que se fabrica en Las Tunas, y brinda a continuación dichos parámetros:

- Embuticiones de forma geométrica rectangular.
- Longitud de las embuticiones (L): 40mm.
- Ancho de las embuticiones (a): 15mm.
- Paso entre embuticiones (P): 45mm.
- Profundidad de las embuticiones (d): 2mm.
- Pendiente de las embuticiones (β): 40°.
- Ángulo de inclinación de las embuticiones (γ): 80°.
- Espesor mínimo de la lámina colaborante (δ): 0.9mm.⁴

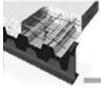
Además recomienda lo siguiente con respecto a la lámina colaborante:

- Aumentar el peralte de las láminas colaborantes (h_r) hasta al menos 55mm.
- Disminuir el ancho de la greca inferior de la lámina (b); prefiriendo acercarse a la relación geométrica $h_r = b$

Como se puede apreciar los parámetros recomendados por Melchor López Ávila para la lámina grecada trapezoidal de METUNAS y las asignadas al perfilpropuesto para construir en MICALUM en la provincia de Cienfuegos son similares, con la ventaja para el perfil propuesto en este trabajo que el mismo puede alcanzar un mayor peralte. No así el espesor, el que se recomienda con un valor mínimo de 0.9 mm para la lámina de Las Tunas y para el perfil o lámina propuesto en este trabajo debido a las condiciones tecnológicas de la planta de inicio solamente se podrá obtener un espesor de 0.7, valor este que Melchor López recomienda como valor mínimo para los cambios realizar la norma cubana NRMC 082:2004.

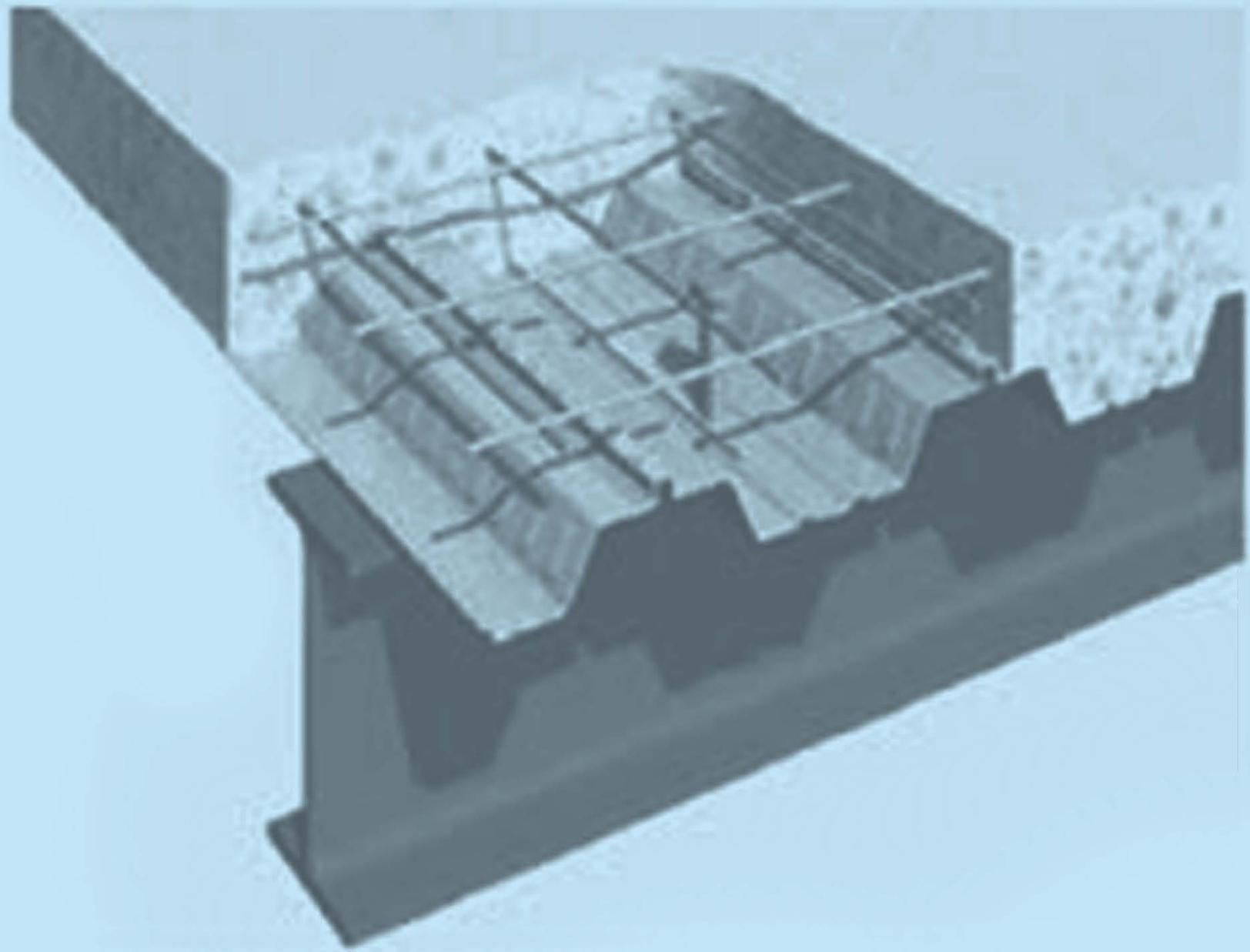
2.6 Conclusiones parciales.

1. La tecnología existente en la Empresa MICALUM permite realizar el perfil propuesto por el autor de este trabajo garantizando las características mecánicas del mismo.

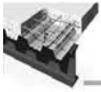


CAPÍTULO II: Propuesta de la sección y análisis de trabajo del perfil de forma independiente.

2. El perfil propuesto cumple con los requisitos indicados por el ingeniero Melchor López Ávila para garantizar la resistencia a cortante al deslizamiento y garantice el trabajo como lámina colaborante con el hormigón.
3. De acuerdo al análisis comparativo realizado con diferentes perfiles utilizados como lámina colaborante, el perfil propuesto en este trabajo presenta parámetros similares a estos.
4. La lámina propuesta en este trabajo presenta una ventaja sobre la lámina propuesta para METUNAS, logra alcanzar en su fabricación un peralte de 64 mm, mayor que los 55 mm que se recomienda llevar dicho parámetro en las primeras.
5. Se analizó y aplicó con resultado positivo la propuesta del ingeniero Melchor López de indicar un espesor mínimo de la lámina de 0.70 m como refiere la norma europea, modificando el valor actual de 0.75 mm que recomienda la NRM C 082:2004.



Capítulo III



Capítulo 3: Análisis del trabajo de la lámina colaborante conjuntamente con la sección de hormigón.

3.1 Introducción.

Las losas compuestas formadas por láminas de acero como encofrado colaborante constituyen soluciones muy eficientes. Son numerosas las ventajas, tanto estructurales como económicas y de ejecución que brinda esta tipología estructural. Estas losas compuestas trabajando como losas colaborantes brindan la posibilidad de aprovechar la lámina metálica como acero en tracción, lo que aporta ventajas desde el punto de vista técnico, económico y de ejecución.

En determinadas bibliografías como el manual de paneles colaborantes para ejecución de losas mixtas conocido como Steel Deck de Ostrilions se nombran como losas mixtas debido a la combinación de la lámina de acero con el bloque de hormigón.

Previo al diseño final se habrá logrado obtener una sección de lámina que garantice el trabajo conjunto de manera que no se produzcan los fallos a la que está expuesta esta tipología constructiva.

Para el caso de este trabajo en el que se propone una sección de lámina para ser fabricada en la Empresa MICALUM en Cienfuegos, los datos referentes a ella se han planteado en el capítulo anterior, con parámetros que garantizarán la no ocurrencia de estos fallos.

Estas losas se utilizan como encofrado durante la construcción, funcionando de forma solidaria con el hormigón después de fraguado¹⁶ tal como se puede ver en la figura 3.1



a)

b)

Fig. 3.1 Según Miguel Ferrer Ballester; a) Losa colaborante en construcción; b) muestra de montaje



Según (Melchor López, Miguel Ferrer y Milan Veljkovic)^{4.16.31} en las losas compuestas se presentan tres formas de fallo principales:

- 1- Fallo a flexión
- 2- Fallo por cortante vertical
- 3- Fallo por cortante longitudinal

Todos estos autores coinciden de acuerdo a los diferentes ensayos realizados por ellos que el fallo por cortante horizontal es el de mayor ocurrencia en estas losas compuestas, estando caracterizado este por la formación o aparición de grietas diagonales en la masa de hormigón, próximas a los puntos de aplicación de la carga y acompañados por deslizamientos en los puntos extremos.

Internacionalmente se realizan ensayos a escala natural de estas losas como pueden verse en diferentes normas como la CSSBI S3-2002 de Canadá y la norma ramal cubana NRMC 082:2007.

En este trabajo se adaptarán los criterios ofrecidos por los diferentes autores para el diseño, aplicándolo a la mencionada norma ramal cubana. Las formas de diseño encontradas no se presentan de forma general debido a la existencia de láminas con variadas áreas de sección transversal.

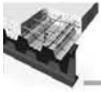
Todos los autores consultados coinciden en la poca probabilidad de ocurrencia del fallo por cortante vertical.

3.2 Fallo por deslizamiento longitudinal.

La mecánica de deslizamiento longitudinal⁴ para las losas compuestas la rigen tres componentes:

- la adherencia química,
- la fricción

³¹Veljkovic, M. (1996). Behaviour and resistance of composite slabs: experiments and finite element analysis. Unpublished Doctor, Lulea Tekniska, Lulea, Sweden.



- interacción mecánica.

Este autor plantea que la adherencia química resulta extremadamente frágil y difícil de predecir, porque depende del proceso de curado del hormigón y de las condiciones superficiales de la lámina. La fricción, aunque actúa a todo lo largo de la luz, su efecto es más concentrado en los extremos de la losa debido a que allí son también mayores las fuerzas normales. Su valor depende sobre todo de las condiciones superficiales de la lámina. La interacción mecánica ofrece resistencia al deslizamiento debido a los obstáculos en su curso tales como las embuticiones de la lámina, las mallas de refuerzo de acero soldadas transversalmente a la lámina (práctica no habitual debido al encarecimiento de los costos), los huecos practicados en la lámina metálica y/o los conectores de cortante que se ubican en los extremos de las losas en la unión de las láminas a las vigas soportantes. Concluyendo que el factor predominante en el diseño es la interacción mecánica, por lo que logrando una interacción mecánica buena se incrementará la capacidad portante de la losa compuesta. Las formas de fallo según el autor Melchor López se pueden ver en la figura 3.2

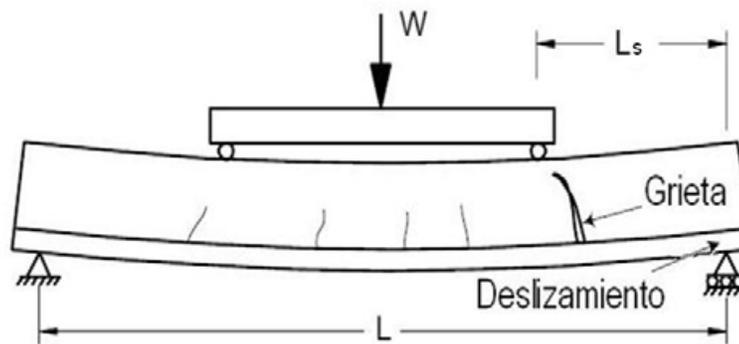
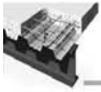


Fig.3.2 Formas o modos de fallo según Melchor López.

En este caso:

- W: Carga
- L_s : Sección crítica (luz de cortante), es la distancia desde las fisuras hasta los apoyos

La adherencia química o enlace químico entre el hormigón y el acero se produce durante el fraguado del hormigón, según los autores consultados es muy variable, debido a la gran variabilidad que puede presentar y al difícil control. Melchor López plantea que cuando el



enlace es débil y se rompe, continua reduciéndose hasta desaparecer, siendo este proceso irreversible.

Para lograr el enlace friccional o la fricción, se han diseñado las embuticiones en la lámina, las que realizan una función similar a las corrugas en las barras de acero, estas actúan

como interferencias mecánicas ante el deslizamiento, según Melchor López este enlace se logra como resultado directo de la aplicación de fuerzas activas normales a la conexión física entre el acero y el hormigón.

El enlace mecánico es la interacción física entre la lámina metálica y el hormigón. Esta interacción⁴ se desarrolla como resultado de la acción de sujeción causada por la flexión de la lámina metálica, y de la fricción entre la lámina metálica y el bloque de hormigón debido a diferentes factores como la rugosidad, geometría del perfil y embuticiones en la superficie metálica.

Como lo han demostrado los ensayos de diferentes autores, el fallo por cortante longitudinal se manifiesta con la aparición de grietas diagonales en el bloque de hormigón, próximas a los puntos de aplicación de la carga y conjuntamente con deslizamientos en los puntos extremos

En la figura 3.3 se observa la secuencia de fallo del enlace a cortante según lo especificado por el ingeniero Melchor López Ávila.

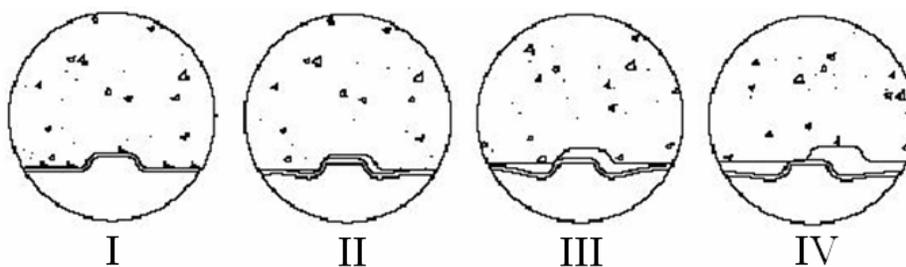


Fig. 3.3 Secuencia de ocurrencia del fallo (Melchor López).

El caso I es la rotura de una débil adherencia química entre el hormigón y la lámina de acero, los dispositivos de transferencia de cortante (embuticiones) empiezan a recibir esfuerzos que se van incrementando.

En el caso II comienza la aparición de las primeras grietas en la sección crítica o luz de cortante (L_s), aumentando la diferencia de tensiones entre el hormigón y la lámina de acero,



esta comienza a separarse del bloque de hormigón, perdiéndose la efectividad del trabajo conjunto de ambos y las fisuras aumentan en número y dimensiones.

En el caso III se ilustra el fallo total de las embuticiones, también denominados elementos de transferencia de cortante, expresándose en forma de deslizamientos.

En el caso IV ha aumentado el número y las dimensiones de las fisuras que se hace inaceptable, separándose completamente la lámina de acero y el bloque de hormigón, comenzando a trabajar como elementos independientes, perdiéndose el concepto de trabajo conjunto.

También este tipo de fallo se conoce como la combinación de los fallos por liberación longitudinal de la lámina y fallo por separación vertical¹⁶, Cuando la flexión de la lámina y, por tanto, el deslizamiento es el necesario para que el hormigón no tenga contacto con las embuticiones, se produce una “liberación longitudinal” del sistema y se alcanza el límite resistente.

De igual forma¹⁶expone que el fallo por separación vertical es el más frecuente en los perfiles considerados como abiertos, pudiendo analizarse conjuntamente con el fallo por liberación longitudinal, se plantea además que en muchos casos se produce un deslizamiento inclinado, resultado de la suma del deslizamiento longitudinal y el vertical. (Ver figuras 3.4 y 3.5)

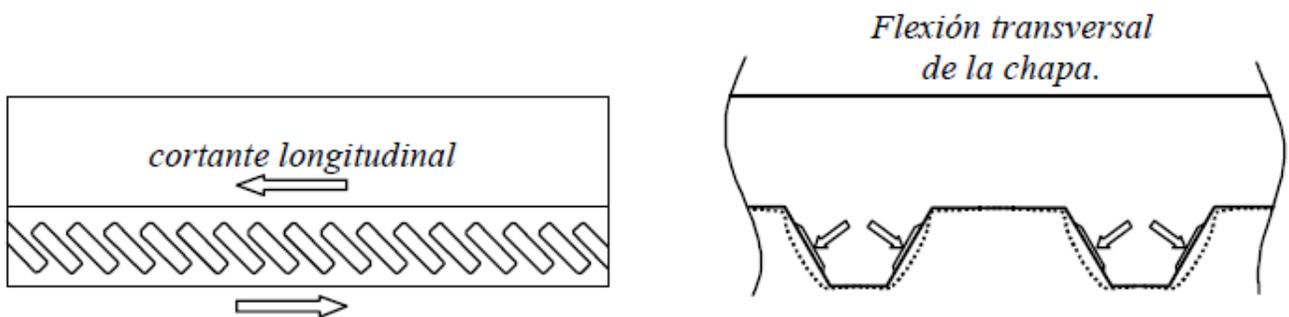


Fig.3.4 Flexión longitudinal de la lámina debido al deslizamiento longitudinal (Miguel Ferrer Ballester, 2006).

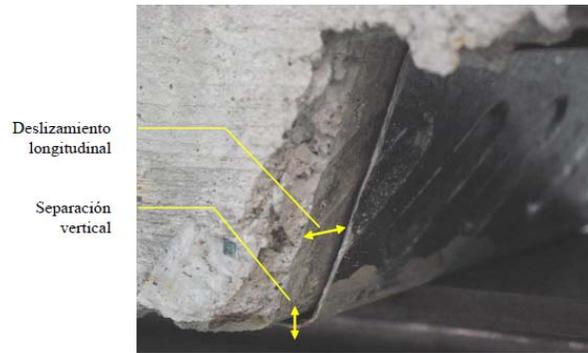


Fig.3.5 Flexión transversal de la lámina provocada por el deslizamiento longitudinal (Miguel Ferrer Ballester, 2006).

Para la sección de la lámina propuesta, así como para los parámetros de las embuticiones definidas en el capítulo anterior se han determinado valores de acuerdo a los recomendados para evitar el fallo en estas estructuras, garantizándose el trabajo conjunto de la lámina de acero y el bloque de hormigón.

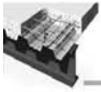
3.3 Fundamentos para el diseño.

En este epígrafe se tratará lo referente a los aspectos que se tienen en cuenta para realizar los cálculos y diseño en general de la losa colaborante.

3.3.1 Análisis de las cargas.

Los valores característicos de las cargas se obtienen de las normas cubanas NC 283:2003 y NC 284:2003, para análisis de estas estructuras en casos reales específicos será necesario utilizar además la normativa referente a la carga de viento y de sismo, NC 285:2003 y NC 46:1999 respectivamente.

Para obtener las cargas de cálculo se seguirá lo establecido en la norma ramal cubana vigente para el cálculo de estas losas (NRMC 082:2004), utilizando los coeficientes de mayoración que aquí se plantean, puede evaluarse por los proyectistas para casos específicos la utilización de las combinaciones y coeficientes de la norma NC 450:2006.



Se ha utilizado para este trabajo la combinación de carga permanente más carga de uso, siendo la combinación según NRM C 082: 2004 y ACI-318-08:

(1,4) CP + (1,7) CU

Para las cargas de uso o temporales se ha utilizado lo estipulado por el Dr Ing. Francisco Medina Torri³² Las cargas iguales o mayores de 2 KN/m^2 , (200 Kg/m^2), están compuestas por el 50% de larga duración y el 50% de corta duración

- Las cargas menores de 2 KN/m^2 , se considera una carga de $0,5 \text{ KN/m}^2$, (50 Kg/m^2) como de larga duración y el resto de corta duración

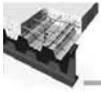
3.3.2 Métodos de diseño y revisión.

Para el diseño se utilizará el método de los estados límites, para el caso de la máxima capacidad resistente y los estados límites de utilización para el caso del servicio de las estructuras. Para los valores expuestos a continuación se han tenido en cuenta los criterios de la norma ramal cubana NRM C 084:2004.

Para el diseño se tendrán en cuenta dos etapas de la estructura:

- Etapa de construcción: En esta etapa se considerarán las cargas permanentes de construcción antes que el hormigón alcance el 75% de la resistencia característica de proyecto, incluyendo el peso de los obreros y equipos para el caso de condiciones normales, este valor se toma de 1 KN/m^2 (100 Kg/m^2)
- Etapa de explotación: Se comprobará la capacidad resistente de la losa compuesta a esfuerzos normales y de cortante. En esta etapa se considerará la colocación de una cuantía mínima de refuerzo superior para evitar la aparición de grietas en la parte superior del bloque de hormigón para el caso que no existan apoyos intermedios.

³²Medina Torri, F. (1995). "Cargas de Edificaciones y obras de ingeniería." 2 TOMOS, TOMO 1(Ed. Félix Varela): Página 45.



Para la comprobación de los estados límites de utilización también se tendrán en cuenta estas dos etapas de construcción y de explotación y se tomarán las solicitaciones originadas por las cargas características.

Para los valores permisibles de la deformación [f] en la etapa de construcción, cuando la losa no sea apuntalada se tomará el menor de los siguientes valores:

- $\frac{L}{180}$
- 2 cm

Dónde:

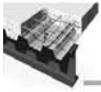
L: Luz de cálculo de la losa

En caso de considerarse apuntalamiento para la losa, esta deformación no se considerará; [f]=0

Para la deformación permisible en la etapa de explotación se han tenido en cuenta los criterios de la NC 207: 2003 especificados en la tabla 14.5, diferenciándose los valores para el caso de cubiertas y entrepiso. La tabla 3.1 muestra los valores que se asumirán para esta deformación permisible.

Tabla 3.1 Flechas máximas permisibles en edificaciones, según NC 207:2003

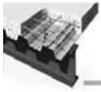
Tipo de elemento	Flecha considerada	Flecha límite
Azoteas planas que no soportan ni están ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes flechas	Flecha inmediata debida a la carga temporal (f_{te})	$\frac{l}{180}$
Entrepisos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes flechas	f_{te}	$\frac{l}{360}$
Sistema de entrepiso o azotea que soporta o está ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños por grandes flechas	flecha total (f_{tot})* según 12.3.5	$\frac{l}{480}$ **
Sistema de entrepiso o azotea que soporta o está ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños por grandes flechas	(f_{tot})* según 12.3.5	$\frac{l}{240}$ ***
Vigas soporte grúas: – grúas operadas a mano (manuales) – grúas eléctricas	f_{tot}	1 / 500 1 / 600



3.4 Características de los materiales.

La calidad de los materiales se ha definido de acuerdo a la normativa existente en el país, considerando la agresividad ambiental a la que pudiera estar sometido el elemento.

- Resistencia característica del hormigón a la compresión mínima a la edad de 28 días:
 $R'_{bk} \geq 200 \text{ Kg/cm}^2 (20 \text{ MPa})$
- Resistencia característica a tracción para la lámina de acero: Se indica el valor de resistencia para las láminas de acero que aparece en los catálogos de METUNAS y MICALUM $R_{aplk} = 2070 \text{ Kg/cm}^2 (207 \text{ MPa})$
- Teniendo en cuenta lo expuesto en la NC 207:2003 y en correspondencia con el diagrama de tensión deformación de aceros estirados en frío (figura 3.6) representado en este documento, se considera la resistencia a la compresión de la lámina de acero con un valor igual a la resistencia característica a tracción, por lo que se ha tomado para este valor: $R'_{aplk} = 2070 \text{ Kg/cm}^2 (207 \text{ MPa})$
- Coeficiente de Poisson de la lámina de acero: (Según criterios de Melchor López Ávila) $\nu_L = 0.291$
- Coeficiente de minoración del hormigón: $\gamma_b = 1.6$
- Tensión máxima de diseño de la lámina: Según NRMC 084:2004 se tomará un valor del 60 % de la resistencia característica a tracción de la lámina, esto es, $R^*_{apl} = 0,6 \cdot R_{aplk}$
- Módulos de deformación
 - Hormigón: $E'_b = 4800 \cdot \sqrt{R'_{bk}}$
 - Acero de la lámina: $E_a = 2 \text{ E5 MPa}$



3.5 Análisis del trabajo conjunto de la lámina de acero y el bloque de hormigón (losa colaborante).

En la figura 3.6 aparece la sección transversal de la losa compuesta, o lo que es lo mismo la lámina de acero conjuntamente con el bloque o losa de hormigón.

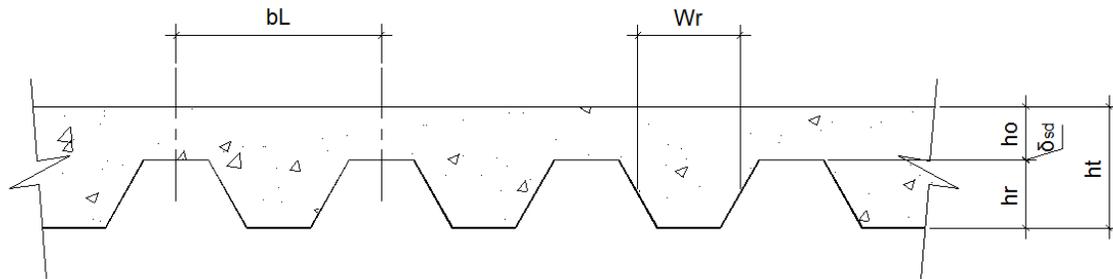
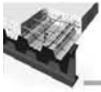


Fig. 3.6 Sección transversal de la lámina de acero conjuntamente con el bloque o losa de hormigón.

Los términos referidos a la lámina que aparecen indicando cada dimensión se conocen del capítulo anterior, por incluir el bloque de hormigón y realizar el análisis de ambos materiales trabajando conjuntamente se enuncian a continuación todos estos parámetros:

- h_r : Altura nominal de los nervios, (64 mm)
- δ_{sd} : Espesor de la lámina, (0.70 mm)
- W_r : Ancho promedio de las canales (97 mm)
- h_o : Peralto de la losa de hormigón (50 mm)
- h_t : Peralto total: Es la suma de la altura nominal de los nervios, el espesor de la lámina y el espesor de la losa de hormigón (115 mm)
- b_L : Ancho de cálculo de la losa compuesta: El cálculo de este parámetro se ha obtenido según la NRM C 082:2004 por la ecuación 1.7:

$$b_L = b_{oL} + \frac{b_{SS}}{2} + \frac{b_{SS}}{2} = b_{oL} + b_{SS} ; \text{donde:}$$



b_{oL} : Ancho superior del alma de hormigón en la sección de cálculo de la losa;

b_{ss} : Ancho de la lámina en la parte superior, medida a ambos lados en la sección de cálculo de la losa. Esta dimensión es el ancho del ala superior de la lámina.

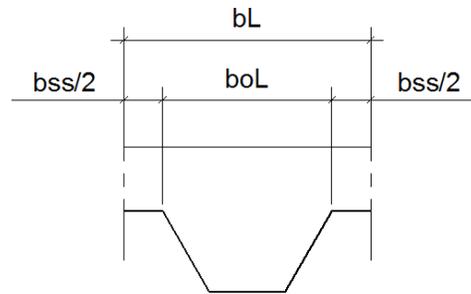


Fig. 3.7 Términos para obtener el ancho de cálculo de la losa.

$$b_L = 13,3cm + 6cm = 19,3cm$$

Como esta losa se ha considerado simplemente apoyada, o sea, no se ha considerado una losa continua, sino isostática, no se tienen en cuenta los momentos negativos, aquí la capacidad resistente a esfuerzos normales cumplirá la condición: $M^*_{max} \leq M^*_u$

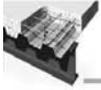
3.5.1 Aspectos a tener en cuenta al realizar diseños.

Se seguirán las especificaciones y recomendaciones que aparecen indicadas en la NRMC 082:2004¹⁴, así como en la Metodología de cálculo detallada. Losas compuestas SEDOM³³, también pueden utilizarse los métodos simplificados pertenecientes al mismo centro.

3.5.2 Hipótesis.

En el caso de losas continuas, apoyadas sobre vigas intermedias, se hará el análisis empleando la hipótesis de losas simplemente apoyadas³³, para no tener que colocar refuerzo

³³ Larrúa, R. (1998). Metodología de cálculo detallada. Losas compuestas SEDOM. . Facultad de Construcciones, Universidad de Camagüey.



negativo por el pequeño espesor de la losa. Se supone que el hormigón se fisura en la cara superior sobre todos los apoyos, el refuerzo de distribución, temperatura y retracción, contribuirá a la formación de varias fisuras pequeñas y no una sola grieta de mayor tamaño y mala apariencia, aunque es de destacar que estas grietas serán tapadas por la solución de piso en el caso de entresijos y por la solución de cubierta para estos casos.

Para el caso de la deformación en la etapa de construcción solamente se considera la carga permanente que aporta el peso propio de la losa y la lámina, no considerándose la carga temporal o de uso que aportan los obreros y los equipos, debido al trabajo elástico que existe, esta deformación o flecha se recuperará al ser retiradas las mismas.

3.5.3 Cálculo de una losa compuesta utilizando la lámina propuesta a la Empresa MICALUM.

Para el análisis del trabajo de la lámina, se ha tomado el ejemplo 1 desarrollado en la Metodología de cálculo detallada. Losas compuestas SEDOM³³, aplicando las características y propiedades de la lámina propuesta a construir en la Empresa MICALUM en Cienfuegos.

- **Ejemplo de diseño**

Datos iniciales:

- Losa de hormigón sobre láminas de acero con nervios perpendiculares a las vigas de apoyo
- Losa continua sobre vigas intermedias espaciadas a 2.5 m, (se hará el análisis de luces simplemente apoyadas para no tener que colocar refuerzo negativo).

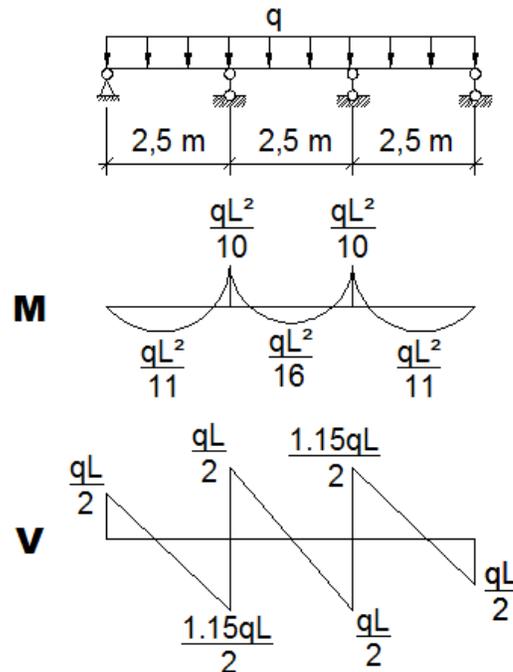


Fig. 3.8 Esquema de análisis y gráficos de momento flector y fuerza cortante.

• Metodología (M-3)³³

Paso No. 1: Definición de las resistencias características de los materiales y sus módulos de elasticidad

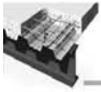
$$R'_{bk} = 250 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (25 MPa); } R_{ak} = 3000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (300 MPa) Acero G-40}$$

$$R_{apkl} = 2070 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (207 MPa); } E_a = 2E6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (2E5 MPa)}$$

$$E'_{b} = 4800 \sqrt{R'_{bk}} = 4800 \sqrt{25 \text{ MPa}} = 24000 \text{ MPa (240000 Kg/cm}^2)$$

Paso No. 2: Definición de los coeficientes de minoración

- Hormigón: $\gamma_b = 1.6$
- Acero ordinario (en barras): $\gamma_a = 1.15$



- Acero de la lámina: $\gamma_{apl} = 1.10$
- Para cortante: $\gamma_c = 1.25$

Paso No. 3: Determinación de las resistencias de cálculo de los materiales

- Hormigón: $R_b^* = \frac{R'_{bk}}{\gamma_b} = \frac{25}{1.6} = 15.6 MPa$
- Acero ordinario: $R_a^* = \frac{R_{ak}}{\gamma_a} = \frac{300}{1.15} = 260.87 MPa$
- Acero de la lámina: $R_{apl}^* = R_{apl}^* = \frac{R_{akpl}}{\gamma_{apl}} = \frac{207}{1.10} = 188,1 MPa$

Paso No. 4: Predimensionamiento de la sección de trabajo y luz de la losa

- Perfil: Lámina propuesta para la Empresa MICALUM
- Determinación del ancho de cálculo de la sección (b_L) y datos de la lámina (Ver figura 3.9)

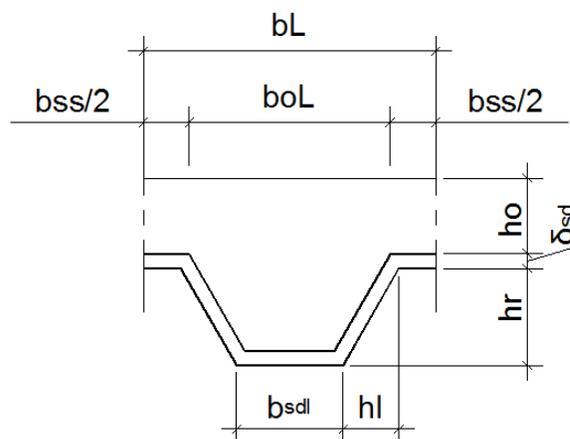
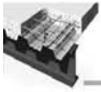


Fig. 3.9 Datos de la lámina.

$\delta_{sd} = 0.07 \text{ cm}$ $b_{ss} = 6 \text{ cm}$ $h_r = 6.4 \text{ cm}$ $b_{sdL} = 6 \text{ cm}$ $b_L = 19.3 \text{ cm}$



$b_{oL} = 13.3$ cm Coeficiente que considera el espaciamiento de los dispositivos de transferencia de cortante en la lámina: $S=1$, toma este valor para el caso en que los dispositivos de transferencia de cortante se encuentran a un espaciamiento constante (NRMC 082:2004)¹⁴

Para la protección anticorrosiva, estas láminas cuentan con un recubrimiento galvanizado de 0.004 cm, por lo que para el análisis estructural, se tomará el valor del espesor de la lámina (δ_{sd}) como el conocido restándose el recubrimiento galvanizado: $\delta_{sd} = 0.07$ cm – 0.004 cm = 0.0660 cm.

- Longitud de la zona inclinada (L_{inc})

$$L_{inc} = \sqrt{(h_r)^2 + [(b_{oL} - b_{sdL})/2]^2}$$

$$L_{inc} = \sqrt{(6,4)^2 + [(13,3 - 6)/2]^2} = 7,37 \text{ cm}$$

Llamando θ al ángulo que forma el alma inclinada de la lámina con la vertical:

$$\text{sen } \phi = \frac{b_{oL} - bL/2}{L_{inc}} = \frac{13,3 - 6/2}{7,37} = 0,50 \quad \phi = 30^\circ \quad \longleftrightarrow$$

- c) Definir el espesor de la losa (h_o) y la altura total de la sección

- $h_o = 5$ cm
- $h_t = h_o + \delta_{sd} + h_r = 5 + 0,07 + 6,4 = 11,47$ cm

- d) Luz de trabajo de la losa: $L = 2,50$ m

Paso No. 5: Determinación de las características geométricas de la sección

- a) Área de la lámina de acero (A_s). Esta es para el ancho b_l .



$$A_s = (b_{ss} + b_{sd} + 2 \cdot l_{enc}) \cdot \delta_{sd}$$

$$A_s = (6 + 6 + 2 \cdot 7.37) \cdot 0.07$$

$$A_s = 1.87 \text{ cm}^2 \quad (\text{para peso propio})$$

Para la resistencia y rigidez a esta área se le resta la capa de recubrimiento galvanizada.

$$A_s = (6 + 6 + 2 \cdot 7.37) \cdot 0.0660$$

$$A_s = 1.765 \text{ cm}^2 \quad (\text{Para resistencia y rigidez})$$

- b) Distancia desde el borde superior de la lámina de acero al centro de gravedad de la misma (U). (Ecuación 1.37 NRM C 082:2004)¹⁴.

$$U = \frac{\left[\frac{b_{ss} \cdot \delta_{sd}}{2} + \frac{(hr - \delta_{sd})}{\cos \phi} + \frac{2 \cdot \delta_{sd} \cdot (hr - \delta_{sd})}{\cos \phi} + b_{sd} L \cdot \left(hr + \frac{\delta_{sd}}{2} \right) \right]}{\left[\frac{2 \cdot (hr - \delta_{sd})}{\cos \phi} + b_{sd} L + b_{ss} \right]}$$

$$U = \frac{\left[\frac{6 \cdot 0,066}{2} + \frac{(6,4 - 0,066)^2}{\cos 30^\circ} + \frac{2 \cdot 0,066 \cdot (6,4 - 0,066)}{\cos 30^\circ} + 6 \cdot \left(6,4 + \frac{0,066}{2} \right) \right]}{\left[\frac{2 \cdot (6,4 - 0,066)}{\cos 30^\circ} + 6 + 6 \right]}$$

$$U = \frac{0.1980 + 46.3261 + 0,9654 + 38,5980}{14,6277 + 12}$$

$$U = \frac{86,0875}{26,6277} = 3.23 \text{ cm}$$

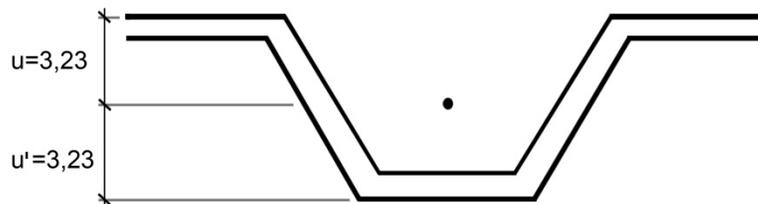
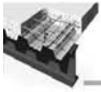


Fig.3.10 Posición del centro de gravedad de la lámina.



- c) Distancia desde el borde inferior de la lámina de acero al centro de gravedad de la misma (U'): Ecuación 1.38 NRM C 082:2004.¹⁴

$$U' = hr + \delta_{sd} - U \implies U' = 6.4 + 0.066 - 3.23 \implies U' = 3.23 \text{ cm}$$

- d) Inercia de la sección transversal de la lámina (I_{sd}). (Ecuación 1.35 NRM C 082 2004)¹⁴, como el espesor de lámina es pequeño se pueden despreciar el primer y el tercer término, quedando 1.35 como:

$$I_1 = b_{ss} \cdot \delta_{sd} \left(u - \frac{\delta_{sd}}{2}\right)^2 + b_{sdL} \cdot \delta_{sd} \cdot \left(U' - \frac{\delta_{sd}}{2}\right)^2$$

$$I_1 = 6 \cdot 0,066 \cdot \left(3,23 - \frac{0,066}{2}\right)^2 + 6 \cdot 0,066 \cdot \left(3,23 - \frac{0,066}{2}\right)^2$$

$$I_1 = 8.094 \text{ cm}^4$$

(Inercia que aportan las alas)

Ecuación 1.36 NRM C 082: 2004¹⁴

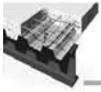
$$I_2 = \frac{(hr - \delta_{sd})^3 \cdot \delta_{sd}}{12 \cdot \cos \phi} + \frac{(hr - \delta_{sd}) \cdot \delta_{sd}^3}{12 \cdot \cos \phi} \cdot \text{sen}^2 \phi + \frac{(hr - \delta_{sd})}{\cos \phi} \cdot \left(U - \frac{(hr - \delta_{sd})}{2} \cdot \delta_{sd}\right)^2$$

$$I_2 = \frac{(6,4 - 0,066)^3 \cdot 0,066}{12 \cdot \cos 30^\circ} + \frac{(6,4 - 0,066) \cdot 0,066^3}{\cos 30^\circ} \cdot \left(3,23 - \frac{(6,4 - 0,066)}{2} \cdot 0,066\right)^2$$

$$I_2 = 1,6139 + 7,3139 \cdot 0 \implies I_2 = 1,6139 \text{ cm}^4$$

Inercia total para el ancho b_l (I_{sd}): Ecuación 1.34 NRM C 082:2004¹⁴

$$I_{sd} = I_1 + 2 \cdot I_2 \implies I_{sd} = 8.094 + 2 \cdot 1.6139 \implies I_{sd} = 11.3218 \text{ cm}^4$$



Paso No. 6: Determinación de las cargas características.

a) Cargas permanentes en la etapa de construcción.

- Ancho promedio de la nervadura de la lámina de acero (w_r).

$$W_r = (b_{ol} + b_{sdl})/2 = (13.3 + 6)/2 \implies \boxed{W_r = 9.65 \text{ cm}}$$

- Área de hormigón en la sección para ancho b_l (A_{hgon}).

$$A_{hgon} = h_o \cdot b_l + h_r \cdot x \cdot w_r = 5 \cdot 19.3 + 6.4 \cdot 9.65 \implies \boxed{A_{hgon} = 158.26 \text{ cm}^2}$$

En esta etapa de construcción se considera la carga permanente debido al peso propio del hormigón y de la lámina de acero.

$$q_{lam} = \gamma_{lamin} \cdot A_s \implies q_{lamin} = 78.5 \text{ kN/m}^3 \cdot 1.87 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \implies \boxed{= 0.01468 \text{ KN/m}}$$

$$q_{hgm} = \gamma_{hgm} \cdot A_{hgm} = 23 \text{ KN/m}^3 \cdot 0.01583 \text{ m}^2 \implies \boxed{K_{ggm} = 0.36410 \text{ KN/m}}$$

$$q_{kcp1} = q_{lam} + q_{hgm} \implies q_{kcp1} = 0.01468 + 0.3644$$

$$\implies \boxed{q_{kcp1} = 0.3788 \text{ KN/m}}$$

b) Cargas permanentes no consideradas en la etapa de construcción (para etapa de explotación) y cargas temporales de larga duración.

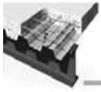
- Relleno: $\gamma_r \cdot b_l \cdot e_{rell} = 0.18 \text{ KN/m}^2/\text{cm} \cdot 0.193 \text{ m} \cdot 5 \text{ cm} = \boxed{0.1737 \text{ KN/m}}$
- Mortero: $\gamma_m \cdot b_l \cdot e_{mortero} = 20 \text{ KN/m}^3 \cdot 0.193 \text{ m} \cdot 0.025 \text{ m} = \boxed{0.0965 \text{ KN/m}}$
- Piso: $\gamma_{piso} \cdot b_l \cdot e_{losa} = 0.23 \text{ KN/m}^2/\text{cm} \cdot 0.193 \text{ m} \cdot 2 \text{ cm} = \boxed{0.0888 \text{ KN/m}}$

$$q_{kcp2} = q_{rell} + q_{mort} + q_{piso} = 0.1737 + 0.0965 + 0.0888 = \boxed{q_{kcp2} = 0.3590 \text{ KN/m}}$$

- Carga permanente total en la etapa de explotación (q_{kcp})

$$q_{kcp} = q_{kcp1} + q_{kcp2} \implies q_{kcp} = 0.3788 + 0.3590 \implies \boxed{q_{kcp} = 0.7378 \text{ KN/m}}$$

- Considerando una carga temporal de larga duración de 1 KN/m^2 (q_{kld})



$$q_{kld} = 1 \text{ KN/m}^2 \cdot 0.193\text{m} \implies q_{kld} = 0.193\text{KN/m}$$

c) Cargas temporales de corta duración actuales en la etapa de explotación:

- Considerando una carga temporal de corta duración de 1 KN/m^2 (q_{kcd})

$$q_{kcd} = 1 \text{ KN/m}^2 \cdot 0.193\text{m} \implies q_{kcd} = 0.193\text{KN/m}$$

Paso No. 7: Determinación de las cargas de cálculo.

- Combinación (1.4) CP + (1.7) C.Temporal

a) $q_{cp1}^* = 1.4 (0.3788 \text{ KN/m}) \implies q_{cp1}^* = 0.5303 \text{ KN/m}$ (Etapa de Construcción)

b) $q_{cp2}^* = 1.4 (0.3590 \text{ KN/m}) \implies q_{cp2}^* = 0.5026 \text{ KN/m}$ (No consideradas en la etapa de construcción)

c) $q_{cd}^* = 1.7 (0.193 \text{ KN/m}) \implies q_{cd}^* = 0.3281 \text{ KN/m}$ (Carga de corta duración)

d) $q_{ld}^* = 1.7 (0.193 \text{ KN/m}) \implies q_{ld}^* = 0.3281 \text{ KN/m}$ (Carga de larga duración se adicionan en q_{cp2}^*)

Al sumar la carga de larga duración a q_{cp2}^* se está considerando está actuando en la etapa de explotación; entonces

$$q_{cp2}^* = 1.4 (0.3590 \text{ KN/m}) + 1.7 (0.193 \text{ KN/m}) \implies q_{cp2}^* = 0.8307\text{KN/m}$$

Paso No. 8: Determinación de las solicitaciones características

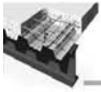
a) Momento producto de las cargas permanentes en la etapa de construcción (M_{kcp1}).

(Positivo) $M_{kcp1} = \frac{1}{11} q_{kcp1} \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0.3788 \text{ KN/m}) \cdot (2.5\text{m})^2 \implies M_{kcp1}^* = 0.2152\text{KN} \cdot \text{m}$

(Negativo) $M_{kcp1n} = \frac{1}{10} q_{kcp1} \cdot L^2 = \frac{1}{10} (0.3788 \text{ KN/m}) \cdot (2.5\text{m})^2 \implies M_{kcp1n}^* = 0.2368\text{KN} \cdot \text{m}$

b) Momento producto de las cargas permanentes no consideraciones en la etapa de construcción y temporales de larga duración.

- Para cargas permanentes



$$\text{(Positivo)} M_{kcp} = \frac{1}{11} q_{kcp} \cdot L^2 \implies M_{kcp} = \frac{1}{11} (0.7378 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2$$

$$\implies \boxed{M_{kcp} = 0.4192 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{(Negativo)} M_{kcpn} = \frac{1}{10} q_{kcp} \cdot L^2 \implies M_{kcp} = \frac{1}{10} (0.7378 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2$$

$$\implies \boxed{M_{kcp} = 0.4611 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

- Para cargas temporales de larga duración

$$\text{(Positivo)} M_{kld} = \frac{1}{11} q_{kld} (L)^2 = \frac{1}{11} (0.193 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2 \implies \boxed{M_{kld} = 0.1097 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{(Negativo)} M_{kldn} = \frac{1}{10} q_{kld} (L)^2 = \frac{1}{10} (0.193 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2 \implies \boxed{M_{kldn} = 0.1206 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{(Positivo)} M_{kcp2} = M_{kcp} + M_{kld} = 0.4192 \cdot \text{m} + 0.1097 \text{ KN}\cdot\text{m} \implies \boxed{M_{kcp2} = 0.5289 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{(Negativo)} M_{kcp2n} = M_{kcpn} + M_{kldn} = 0.4611 \text{ KN}\cdot\text{m} + 0.1206 \text{ KN}\cdot\text{m} \implies \boxed{M_{kcp2n} = 0.5817 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

- c) Momento producto de las cargas temporales de corta duración

$$\text{(Positivo)} M_{kcd} = \frac{1}{11} (q_{kcd}) (L)^2 = \frac{1}{11} (0.193 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2 \implies \boxed{M_{kcd} = 0.1097 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$$\text{(Negativo)} M_{kcdn} = \frac{1}{10} q_{kcd} (L)^2 = \frac{1}{10} (0.193 \text{ KN/m}) (2.5\text{m})^2 \implies \boxed{M_{kcd} = 0.1206 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

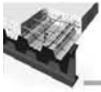
- d) Momento máximo positivo producto de las combinaciones de cargas.

$$M_{\max} = M_{kcp1} + M_{kcp2} + M_{kcd} = 0.2152 \text{ KN}\cdot\text{m} + 0.5289 \text{ KN}\cdot\text{m} + 0.1097 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$\implies \boxed{M_{\max} = 0.8538 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

Paso No. 8.1: Valores de las deformaciones obtenidas con rigidez (E.I)=1.

Los valores que aquí se obtendrán serán el numerador de la flecha o deformación definitiva, en el cálculo de estos valores no se ha tenido en cuenta la rigidez (E.I).



- Se considera el elemento continuo con tres lugares iguales y carga uniformemente distribuida, en estos casos la deformación máxima se obtiene a una distancia $x = 0.446L$ de cualquiera de los apoyos extremos:

$$f = \frac{q \cdot L^4}{145 EI}$$

a) Etapa de construcción.

$$f_{ckp1} = \frac{q_{kcp1} \cdot L^4}{145} = \frac{0,3788 \text{ KN/m} \cdot (2,5)^4}{145} \Rightarrow f_{ckp1} = 0,1020 \text{ KN} \cdot \text{m}^3$$

b) Para cargas no consideradas en la etapa de construcción más la de la etapa de construcción. $(q_{kcp1} + q_{kcp2}) = q_{kcp}$

$$f_{ckp} = \frac{q_{kcp} \cdot L^4}{145} = \frac{0,7378 \text{ KN/m} \cdot (2,5)^4}{145} \Rightarrow f_{ckp} = 0,1988 \text{ KN} \cdot \text{m}^3$$

c) Para carga de larga duración.

$$f_{kld} = \frac{q_{kld} \cdot L^4}{145} = \frac{0,193 \text{ KN/m} \cdot (2,5)^4}{145} \Rightarrow f_{kld} = 0,0520 \text{ KN} \cdot \text{m}^3$$

d) Para carga de corta duración.

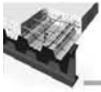
$$f_{kcd} = \frac{q_{kcd} \cdot L^4}{145} = \frac{0,193 \text{ KN/m} \cdot (2,5)^4}{145} \Rightarrow f_{kcd} = 0,0520 \text{ KN} \cdot \text{m}^3$$

Paso No.9. Determinación de las solicitaciones de cálculo.

a) Etapa de construcción.

$$\text{(Positivo)} M_{cp1}^* = \frac{1}{11} q_{cp1}^* \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0,5303 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Rightarrow M_{cp1}^* = 0,3013 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(Negativo)} M_{cp1n}^* = \frac{1}{10} q_{cp1}^* \cdot L^2 = \frac{1}{10} (0,5303 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Rightarrow M_{cp1n}^* = 0,3314 \text{ KN} \cdot \text{m}$$



b) Etapa de explotación. (Para cargas permanentes.)

$$\text{(Positivo)} M_{cp2}^* = \frac{1}{11} q_{cp2}^* \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0,5026 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{cp2}^* = 0,2856 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(Negativo)} M_{cp2n}^* = \frac{1}{10} q_{cp2}^* \cdot L^2 = \frac{1}{10} (0,5026 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{cp2}^* = 0,3141 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

c) Etapa de explotación. (Para cargas de larga duración.)

$$\text{(Positivo)} M_{ld}^* = \frac{1}{11} q_{ld}^* \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0,3281 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{ld}^* = 0,1864 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(Negativo)} M_{ldn}^* = \frac{1}{10} q_{ld}^* \cdot L^2 = \frac{1}{10} (0,3281 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{ld}^* = 0,2051 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Al adicionar la carga de larga duración a la carga permanente en la etapa de explotación

M_{cp2}^* queda:

$$\text{(Positivo)} M_{cp2}^* = 0,2856 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,1864 \text{ KN} \cdot \text{m} \Longrightarrow M_{cp2}^* = 0,4720 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(Negativo)} M_{cp2n}^* = 0,3141 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,2051 \text{ KN} \cdot \text{m} \Longrightarrow M_{cp2}^* = 0,5192 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

d) Momento de cálculo para cargas de corta duración.

$$\text{(Positivo)} M_{cd}^* = \frac{1}{11} q_{cd}^* \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0,3281 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{cd}^* = 0,1864 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{(Negativo)} M_{cdn}^* = \frac{1}{10} q_{cd}^* \cdot L^2 = \frac{1}{10} (0,3281 \text{ KN/m})(2,5\text{m})^2 \Longrightarrow M_{cd}^* = 0,2051 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Paso No.10. Establecimiento de las combinaciones de cargas.

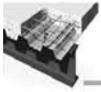
a) Determinación del momento máximo de cálculo.

$$M_{\max}^* = M_{cp1}^* + M_{cp2}^* + M_{cd}^* = 0,3013 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,4720 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,1864 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max}^* = 0,9597 \text{ KN} \cdot \text{m} \text{ (Positivo)}$$

$$M_{\max}^* = M_{cp1n}^* + M_{cp2n}^* + M_{cdn}^* = 0,3314 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,5192 \text{ KN} \cdot \text{m} + 0,2051 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\maxn}^* = 1,0557 \text{ KN} \cdot \text{m} \text{ (Negativo)}$$



b) Determinación del cortante máximo de cálculo.

Se parte de suponer que la lámina no se apuntala, por lo que el coeficiente que toma en consideración el apuntalamiento (η) según NRM C 082: 2004¹⁴ es cero ($\eta = 0$)

- Carga para cortante máximo de cálculo.

$$q^* = \eta \cdot q_{cp1}^* + q_{cp2}^* + q_{cd}^* = 0 \cdot 0,5303 \text{ KN/m} + 0,8307 \text{ KN/m} + 0,3281 \text{ KN/m}$$

$$q^* = 1,1588 \text{ KN/m}$$

- Cortante Máximo:

$$V_{\max}^* = \frac{1,15 \cdot q^* L}{2} = \frac{1,15 \cdot 1,1588 \text{ KN/m} (2,5\text{m})}{2} \Rightarrow V_{\max}^* = 1,6658 \text{ KN}$$

Paso No.11. Comprobación de la lámina en la etapa de construcción.

- Para la etapa de construcción se recomienda en la NRM C 082: 2004¹⁴ tomar una carga temporal o de uso de 1 KN/m^2

$$q_t^* = 1 \text{ KN/m}^2 \Rightarrow q_t^* = 0,3281 \text{ KN/m} \Rightarrow \text{Entonces la carga de cálculo para la}$$

etapa de construcción será:

$$q_{\text{const}}^* = q_{cp1}^* + q_t^* = 0,5303 \text{ KN/m} + 0,3281 \text{ KN/m} \Rightarrow q_{\text{const}}^* = 0,8584 \text{ KN/m}$$

- Momento de cálculo en la etapa de construcción.

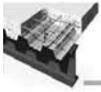
$$M_{1\text{const}}^* = \frac{1}{11} q_{\text{const}}^* \cdot L^2 = \frac{1}{11} (0,8584 \text{ KN/m}) (2,5\text{m})^2 \Rightarrow M_{1\text{const}}^* = 0,4877 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

- Chequeo de la capacidad resistente –
- Módulo resistente de la lámina.

$$W_{sd} = \frac{I_{sd}}{U} = \frac{11,3218 \text{ cm}^4}{3,23 \text{ cm}} \Rightarrow W_{sd} = 3,5052 \text{ cm}^3 = 3,505 \text{ E} - 6 \text{ m}^3$$

- Comprobación de las condiciones de resistencia (tensiones) para el apuntalamiento.

$$\sigma = \leq 0,6 R_{\text{aplk}}^* \quad 0,6 R_{\text{aplk}}^* = 0,6(207) = 124,24 \text{ MPa}$$



$$\sigma = \frac{M_{1const}^*}{W_{sd}} \leq R_{aplk}^* \geq \sigma = \frac{4,877E-4}{3,505E-6} \implies \sigma = 139,14 \text{ MPa}$$

$> 0,6 R_{aplk} \implies$ No se cumple la condición por lo que no es necesario colocar apuntalamiento.

Teniendo en cuenta un apuntalamiento de la losa al centro: $\eta = 0.625$

Entonces la carga de cortante (q^*) es:

$$q^* = 0,625(0,5303 \text{ KN/m}) + 0,8307 \text{ KN/m} + 0,3281 \text{ KN/m}$$

$$q^* = 1,4919 \text{ KN/m}$$

- Cortante Máximo.

$$V_{max}^* = \frac{1,15 \cdot q^* L}{2} = \frac{1,15 \cdot 1,4919 \text{ KN/m}(2,5\text{m})}{2} \implies V_{max}^* = 2,1446 \text{ KN}$$

- Comprobación de la deformación. (Flecha.)

$$f_{const} = \frac{f_{ckp1}}{Ea \cdot I_{sd}} = \frac{0,1020}{2E8(11,32E-8)} = 0,0045\text{m} = 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{-Deformación permisible } [f] \leq \frac{L}{180} = \frac{250}{180} = 1,39 \text{ cm}$$

$f = 0,45\text{cm} < [f] = 1,39 \text{ cm} \implies$ OK Cumple con el estado límite de utilización para la etapa de construcción.

Paso No.12 Comprobación de los esfuerzos cortantes.

- Análisis de la adherencia a cortantes en losas compuestas. (Expresión 1.17 NRMC 082:2004)¹⁴ $L^I = \frac{1}{4} L$ Para cargas uniformemente distribuidas.

$$V_U^* = \frac{b_L \cdot h_e}{\gamma_e \cdot S} \cdot \left[\frac{m \cdot A_s}{b_L \cdot L^I} + 2,65 \cdot k \cdot \sqrt{R_{bk}^I} \right]$$

$$V_U^* = \frac{0,193 \cdot 0,0323}{1,25 \cdot 1} \left[\frac{m \cdot 1,87E-4}{0,193 \cdot 0,625} + 2,65 \cdot k \cdot \sqrt{25000} \right]$$



Los valores de m y k corresponden a la pendiente del gráfico de regresión lineal reducido y el intercepto del gráfico de regresión lineal con el eje Y , obtenidos de ensayos de laboratorio a las láminas por lo que cada tipo de lámina tiene sus valores de m y k .

El valor de cortante último se ha obtenido del (Método simplificado para el cálculo losas compuestas (SECOM, Facultad de Construcciones, Universidad de Camagüey.)³³. Este valor es aproximado debido a que pertenece a otra lámina en el caso más desfavorable (Tabla 2 Método de cálculo simplificado con tablas de selección. Losa Compuesta.

Valor de cortante último más desfavorable $V_u^* = 2,061 \text{ KN}$

$$\delta_{sd} = 0.061 \text{ cm} \quad \text{Luz} = 3.5 \text{ m} \implies V_u^* = 2.061 \text{ KN}$$

$$V_{\max}^* = 1.6658 \text{ KN} < V_u^* \implies \text{OK}$$

- Análisis del esfuerzo cortante en el Hormigón.

$$b_{01} = \frac{b_{0L} - b_{sdl}}{2} = \frac{13,3 \text{ cm} - 6 \text{ cm}}{2} \implies b_{01} = 3,65 \text{ cm}$$

$$b_{02} = \frac{h_0 - b_{01}}{h_r} = \frac{5 \text{ cm} - 3,65 \text{ cm}}{6,4 \text{ cm}} \implies b_{02} = 2,85 \text{ cm}$$

$$(b_{0L} + 2 \cdot b_{02}) = (13,3 \text{ cm} + 2(2,85 \text{ cm})) \implies (b_{0L} + 2 \cdot b_{02}) = 19 \text{ cm}$$

Se cumplirá que $(b_{0L} + 2 \cdot b_{02}) \leq b_L$

- Cálculo del área de Hormigón disponible para cortante (A_c)
(Ecuación 1.20NRM C 082:2004)¹⁴

$$A_c = (b_{sdl} + b_{04}) \cdot h_r + (b_{0L} + b_{02}) \cdot h_0 = W_r \cdot h_r + (b_{0L} + b_{02}) \cdot h_0$$

$$A_c = (6 \text{ cm} + 3,65 \text{ cm}) \cdot 6,4 \text{ cm} + (13,3 \text{ cm} + 2,85 \text{ cm}) \cdot 5 \text{ cm}$$



$$A_c = 61,76 \text{ cm}^2 + 80,75 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 142,51 \text{ cm}^2 = 0,0143 \text{ m}^2$$

- Cálculo del cortante resistente de cálculo del Hormigón en el ancho bl.(V*b.) (Ecuación 1.20NRM C 082:2004)¹⁴

$$V_b^* = (\lambda_b \cdot 91 \cdot \sqrt{R_{bk}^I \cdot A_c}) / \gamma_c$$

λ_b es el coeficiente en función del hormigón

$\lambda_b = 1$ para hormigón de peso normal

$$V_b^* = \frac{1 \cdot 91 \cdot \sqrt{25 \text{ Mpa} \cdot 0,0143 \text{ m}^2}}{1,25} \implies V_b^* = 5,20 \text{ KN}$$

Se comprueba que $V_{\max} = 1,6658 \text{ KN} < V_b^* = 5,20 \text{ KN} \implies$ Cumple

Paso No.13 Comprobación de la capacidad resistente a esfuerzos normales.

- Comprobación de la sección compuesta en la etapa de trabajo conjunto.
- 13.1 Sección con losa comprimida (El eje neutro estará en la losa)
- Definir la posición del eje neutro.

Partiendo del caso 1. Suponiendo el eje neutro en la losa de hormigón ($x \leq h_0$) (Ecuación 1.9NRM C 082:2004)¹⁴

$$X = \frac{R_{aplk}^* \cdot A_s}{0,68 \cdot R_b^{I*} \cdot b_L} = \frac{188 \cdot 1,87E - 4\text{m}}{0,68 \cdot 15,6 \cdot 0,193\text{m}} \implies X = 0,017\text{m}$$

$$R_{aplk}^* = \frac{207 \text{ MPa}}{1,10} = 188 \text{ MPa}$$

$$R_b^{I*} = \frac{25}{1,6} = 15,6 \text{ MPa}$$

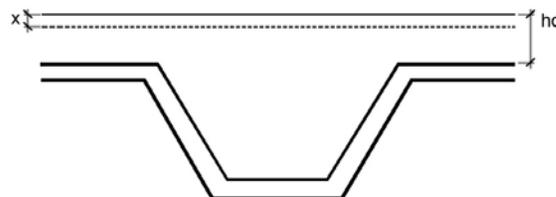


Fig. 3.11 Posición del eje neutro



- Comprobar que: $x \leq h_0$: $x = 1,7\text{cm} < h_0 = 5\text{cm} \implies \text{OK se cumple}$

Cálculo del momento último (Ecuación 1.10NRM 082:2004)¹⁴

$$M_U^* = 0,408 \cdot R_b^{I*} \cdot b_L \cdot x^2 + R_{apl}^* \cdot A_s \cdot (h_0 - x + u)$$

$$M_U^* = 0,408 \cdot 15,6 \cdot 0,193 \cdot (0,017)^2 + 188 \cdot 1,87E - 4 \cdot (0,05 + 0,017 + 0,0323)$$

$$M_U^* = 3,55E - 4 + 2,46E - 5 \implies M_U^* = 0,0003796 \text{ MN} \cdot \text{m} = 0,3796 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$M_{max}^* > M_u^* \implies$ No cumple por lo que se propone aumentar el espesor h_0 de la losa, despejando en la ecuación M_u^* se obtiene un h_0 mayor de 6cm y menor de 7cm, por lo que se adopta un $h_0 = 7\text{cm}$.

- Recalculando el M_u^* .

$$M_U^* = 0,408 \cdot 15,6 \cdot 0,193 \cdot (0,017)^2 + 188 \cdot 1,87E - 4 \cdot (0,07 + 0,017 + 0,0323)$$

$$M_U^* = 3,55E - 4 + 7,28E - 5 \implies M_U^* = 0,001083 \text{ MN} \cdot \text{m} = 1,083 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Comprobando: $M_{max}^* = 0,9597 \text{ KN} \cdot \text{m} < M_u^* = 1,083 \text{ KN} \cdot \text{m} \implies \text{Cumple}$

El aumento del peralte significa que aumenta el área de hormigón pero aumenta también la carga que aporta este, aumenta también la dimensión de la losa al centro de gravedad, parámetros estos que ayudan al trabajo de la losa, compensando el aumento de la carga.

- Sección con losa traccionada.

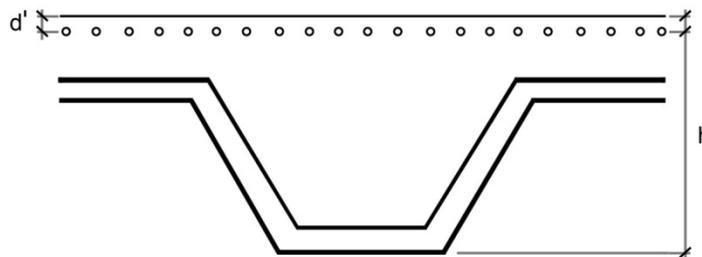
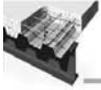


Fig. 3.12 Ref. para losa traccionada.



$$d^l = 3\text{cm}$$

$$R_a^* = \frac{Rak}{\gamma_a} = \frac{300}{1.15} = 260.87\text{MP}_a$$

$$h = h_0 + h_r - d^l = 7\text{cm} + 6,4 - 3 \implies h = 10,4\text{ cm}$$

$$\mu_R = \frac{M_{\max}^*}{b \cdot h^2 \cdot R_b^l} = \frac{1,0557\text{E} - 3}{0,0965 \cdot (0,104)^2 \cdot 15,6} \implies \mu_R = 0,0648$$

$$b = W_R = 0,0965$$

$$\omega_R = 1 - \sqrt{1 - 2M_R} \implies W_R = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0648} \implies \omega_R = 0,0670$$

$$\omega_R < W_b = 0,6 \implies \text{Fallo dúctil}$$

$$A_{IL} = \frac{W_R \cdot \omega_R \cdot h \cdot R_b^l}{R_a^*} = \frac{0,0670 \cdot 0,0965 \cdot 0,104 \cdot 15,6}{260,87} = 0,0000402\text{ m}^2$$

$$A_{IL} = 0,402\text{ cm}^2$$

Usando ϕ 9,5 mm (Barras #3)

$$\text{No. De Barras} = \frac{A_T}{A_{I\phi}} = \frac{A_{IL}}{A_{I\phi}} = \frac{0,402\text{ cm}^2}{0,71\text{ cm}^2} = 0,56 \implies 1\ \phi\ 9,5\text{ mm}$$

$$A_{\text{real}} = 0,71\text{cm}^2$$

Espaciamiento:

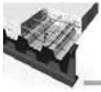
$$@ = \frac{b_L \cdot A_{I\phi}}{A_{\text{real}}} = \frac{19,3\text{ cm} \cdot 0,91\text{ cm}^2}{0,91\text{ cm}^2} \implies @ = 19,3\text{ cm}$$

Se puede adoptar un espaciamiento de 20cm

Este acero es capaz de asumir el trabajo de refuerzo de temperatura, distribución y retracción.

Paso No.14 Comprobación de los estados límites de utilización.

- Determinación del coeficiente de equivalencia(n) (Tabla 1.1 NRMC 082:2004)¹⁴



$$n = E_a/E_b$$

$$R_{bk}^I = 25 \text{ MPa} \implies n = 8,3$$

- Determinación de la posición del eje neutro elástico (X_h) y la inercia de la sección Homogeneizada. (I_h)

(Ecuación 1.39 y 1.40 NRM C 082:2004)¹⁴

- Eje neutro elástico(X_h).

$$X_h = \frac{b_L \cdot R_0^2/2 + n \cdot A_s \cdot (h_0 + U) + W_R \cdot h_r \cdot (h_r/2 + b_r)}{b_L \cdot h_0 + n \cdot A_s + W_R \cdot h_r}$$

$$X_h = \frac{0,193 \cdot 0,07^2/2 + 8,3 \cdot 1,87E - 4 \cdot (0,07 + 0,0325) + 0,0965 \cdot 0,064 \cdot (0,064/2 + 0,07)}{0,193 \cdot 0,07 + 8,3 \cdot 1,87E - 4 + 0,0965 \cdot 0,064}$$

$$X_h = \frac{0,0005 + 0,0002 + 0,0006}{0,0135 + 0,0016 + 0,0062} = \frac{0,0013}{0,0213} = 0,061m \implies X_h = 6,1 \text{ cm}$$

- Inercia de la sección Homogeneizada. (I_h)

$$I_h = \frac{b_L \cdot h_0^3}{12} + b_L \cdot h_0 \cdot (X_h - h_0/2)^2 + \frac{W_R \cdot h_r^3}{12} + W_R \cdot h_r \cdot (h_0 + h_r/2 - X_h)^2 + n \cdot I_{sd} + n \cdot A_s \cdot (h_0 + U - X_h)^2$$

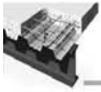
$$I_h = \frac{0,193 \cdot 0,07^3}{12} + 0,193 \cdot 0,07 \cdot (0,0610 - 0,07/2)^2 + \frac{0,0965 \cdot 0,064^3}{12} + 0,0965 \cdot 0,064 \cdot (0,07 + 0,064/2 - 0,061)^2 + 8,3 \cdot 11,3218E - 5 + 8,3 \cdot 1,87E - 4 \cdot (0,07 + 0,0325 - 0,061)^2$$

$$I_h = \frac{5,52E - 6}{12} + 9,133E - 6 + 2,108E - 6 + 1,0382E - 5 + 9,4E - 7 + 4,15E - 5$$

$$I_h = 460E - 9 + 64,063E - 6 \implies I_h = 6,45E - 5 \text{ m}^4 = 6452,30 \text{ cm}^4$$

- Determinación de la rigidez de la losa compuesta.

Momento de fisuración(M_{fis})(Ecuación 1.45 NRM C 082:2004)¹⁴



- Para la determinación de la rigidez hay que considerar si el hormigón está fisurado o no.

a) $M_{fis} > M_{max} \implies$ Hormigón no fisurado

b) $M_{fis} \leq M_{max} \implies$ Hormigón fisurado

$$M_{fis} = \frac{0,62 \sqrt{R_{bk}^I} \cdot I_h}{(h_0 + h_r - X_h)} = \frac{0,62 \sqrt{25} \cdot 6,4E - 5}{(0,07 + 0,064 - 0,061)} = \frac{198,4E - 6}{0,073}$$

$$M_{fis} = 0,002718 \text{ MN} \cdot \text{m} = 2,718 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$M_{fis} > M_{max} \implies$ Se considera que el hormigón no está fisurado porque para fisurarse requiere un momento de 2.718 KN·m y el que está actuando es de 0.8538 KN·m.

- Determinación de la inercia efectiva de la sección compuesta. (I_e)

Como el Hormigón no está fisurado la inercia efectiva corresponde a la inercia de la sección homogeneizada.

$$I_e = I_h \implies (\text{Ecuación 1.46 NRM C 082:2004})^{14}$$

$$I_e = I_h = 6,45E - 5 \text{ m}^4 = 6452,30 \text{ cm}^4$$

- Determinación de la deformación (Flecha). En la etapa de explotación (f_e).
- Deformación producto de las cargas actuantes.

Carga permanente

$$f_{cp} = \frac{f_{ckp}}{E_b^I \cdot I_e} = \frac{0,1988}{2,4E - 7 \cdot 6,45E - 5} \implies f_{cp} = 0,000128 \text{ m} = 0,0128 \text{ cm}$$

- Deformación producto de las cargas de larga duración.

$$f_{ld} = \frac{f_{kld}}{E_h \cdot I_e} = \frac{0,0520}{2,4E - 7 \cdot 6,45E - 5} \implies f_{ld} = 0,0000336 \text{ m} = 0,00336 \text{ cm}$$



- Deformación producto de las cargas de corta duración.

$$f_{cd} = \frac{f_{kcd}}{E_h \cdot I_e} = \frac{0,0520}{2,4E - 7 \cdot 6,45E - 5} \implies f_{ld} = 0,0000336 \text{ m} = 0,00336 \text{ cm}$$

- Deformación en la etapa de explotación.

- Selección de la deformación permisible.

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 3.1 de este capítulo, tabla que aparece en la norma NC 207:2003³⁴, considerando un entrepiso que no soporta ni está ligado a elementos no estructurales susceptibles a sufrir daños por grandes flechas. $[f_e] = \frac{L}{360}$

$$[f_e] = \frac{L}{360} = \frac{L250}{360} = 0,694 \text{ cm}$$

Considerando la acción de todas las cargas. (Ecuación 1.48 NRMC 082:2004)¹⁴

$$f_t = f_{cd} + 2 \cdot f_{cp} + (\lambda + 1) \cdot f_{ld}$$

λ : Coeficiente en función del tipo de hormigón

Hormigón de peso normal $\lambda = 1$

$$f_t = 0,00336 \text{ cm} + 2 \cdot 0,0128 + (1 + 1) \cdot 0,00336$$

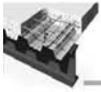
$$f_t = 0,035 \text{ cm} < [f] = 0,694 \text{ cm}$$

Flecha instantánea bajo la acción de cargas temporales. (Ecuación 1.49 NRMC 082:2004)¹⁴

$$f_{te} = f_{ld} + f_{ed}$$

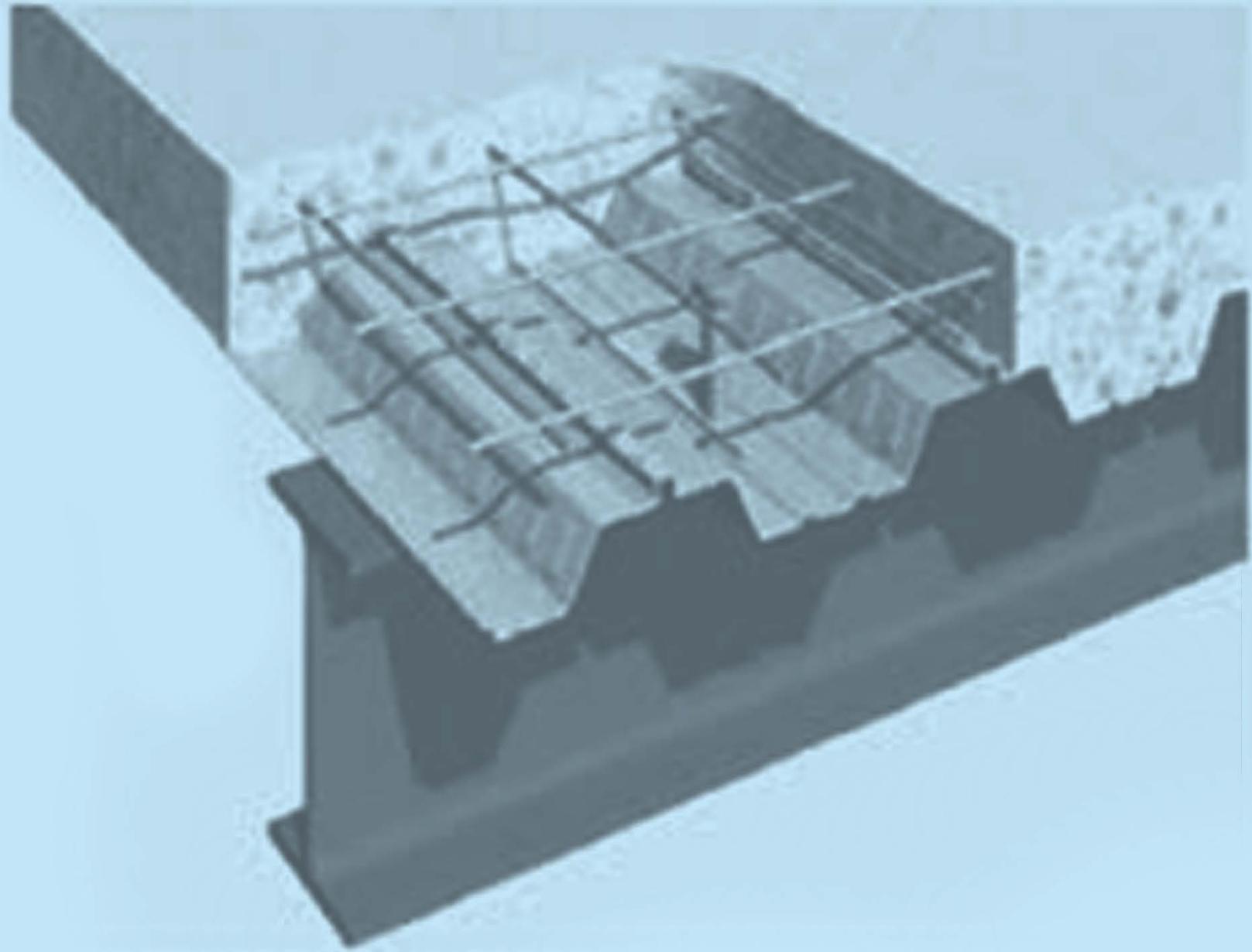
$$f_{te} = 0,00336 + 0,00336 \implies f_{te} = 0,00672 \text{ cm} < [f] = 0,694 \text{ cm}$$

³⁴NC (207:2003). Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón.



3.6 Conclusiones parciales.

- 1) En las losas compuestas la forma de fallo más común es por deslizamiento longitudinal debido a la pérdida de la adherencia entre el hormigón y la lámina, si las dimensiones de los parámetros no son las adecuadas no existe buena interacción mecánica.
- 2) Cuanto mayor sea la interacción mecánica entre la lámina y el hormigón mayor será la resistencia a cortante.
- 3) El valor que se puede alcanzar de cortante último es directamente proporcional a la resistencia del hormigón, a mayor resistencia del hormigón, mayor será el valor de resistencia al cortante.
- 4) Las losas se deben construir considerándolas simplemente apoyadas, asumiendo que la malla electrosoldada de acero sirve de refuerzo a los momentos negativos en el caso de losas continuas, esto garantiza la formación de varias grietas pequeñas y no una grieta de mayor tamaño.
- 5) Las grietas o fisuras aparecidas en la cara superior de la losa no son importantes, todas serán tapadas por la solución de terminación de piso o cubierta.

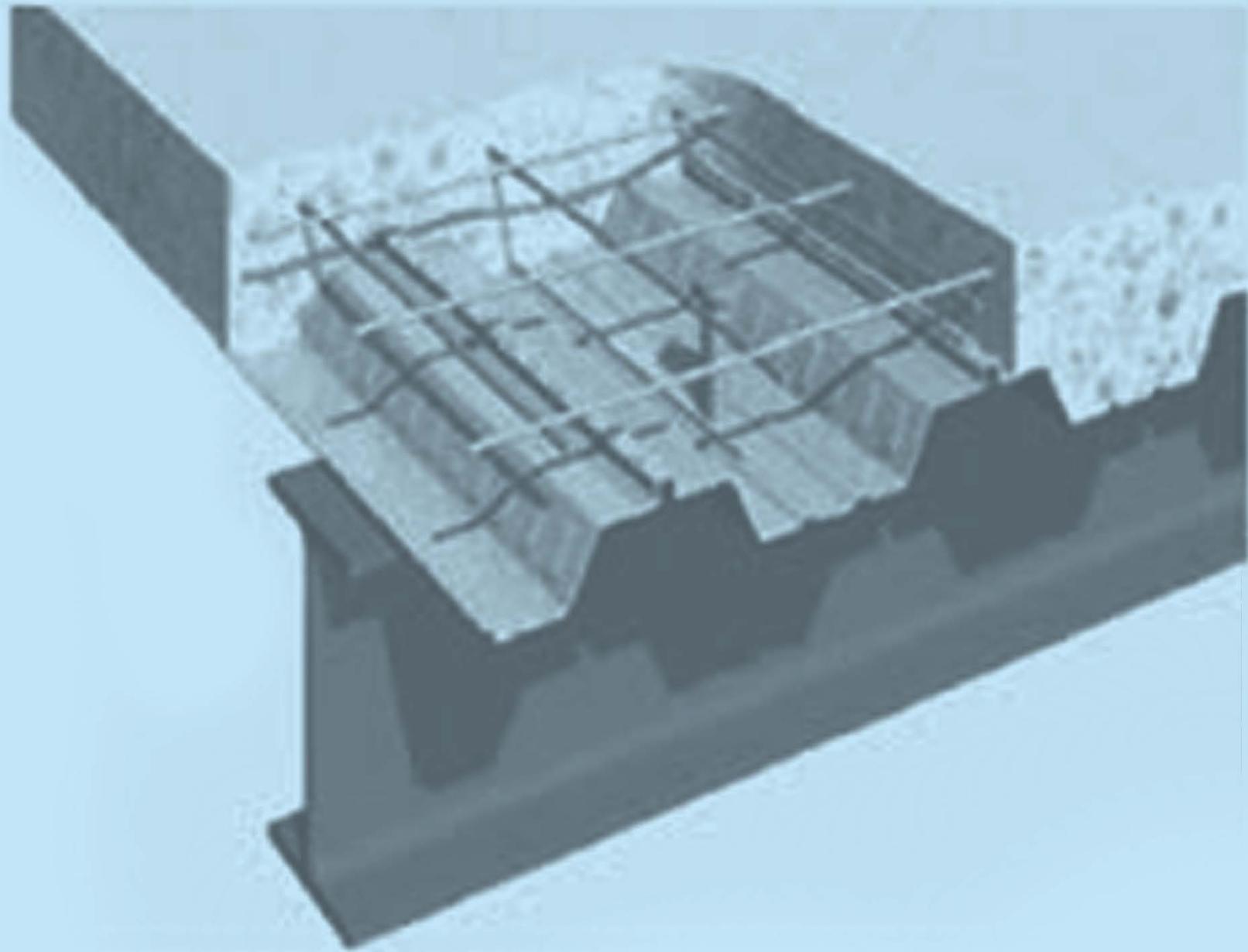


Conclusiones



Conclusiones generales

- 1) La bibliografía con que se cuenta para este tema se considera escasa, existen diversos catálogos y manuales que brindan las características de determinadas láminas o perfiles, pero se ha encontrado relativamente poca bibliografía con resultados de ensayos y pruebas.
- 2) Con la revisión bibliográfica se determinó usar para este trabajo los criterios tenidos en cuenta por el ingeniero Melchor López Ávila por la importancia que tiene relacionar el ancho con el peralte de la lámina, así como la profundidad y geometría de las embuticiones.
- 3) La lámina propuesta en este trabajo presenta una ventaja sobre la lámina propuesta para METUNAS, logra alcanzar en su fabricación un peralte de 64 mm, mayor que los 55 mm que se recomienda llevar dicho parámetro en las primeras.
- 4) Se analizó y aplicó con resultado positivo la propuesta del ingeniero Melchor López de indicar un espesor mínimo de la lámina de 0.70 m como refiere la norma europea, modificando el valor actual de 0.75 mm que recomienda la NRMC 082:2004.
- 5) La relación entre los parámetros indicados para la lámina coinciden con los resultados de análisis realizados por diferentes autores, esto indica que la propuesta de lámina cumple con los requerimientos estructurales para trabajar como lámina colaborante.
- 6) El ejemplo realizado utilizando la lámina propuesta demuestra que la misma es capaz de resistir las cargas y solicitaciones debido a que cumple con todas las condiciones y requerimientos establecidos en la NRMC 082:2004, y las metodologías para el cálculo de losas compuestas propuestas por el SECOM perteneciente a la Facultad de Construcciones de la Universidad de Camagüey.

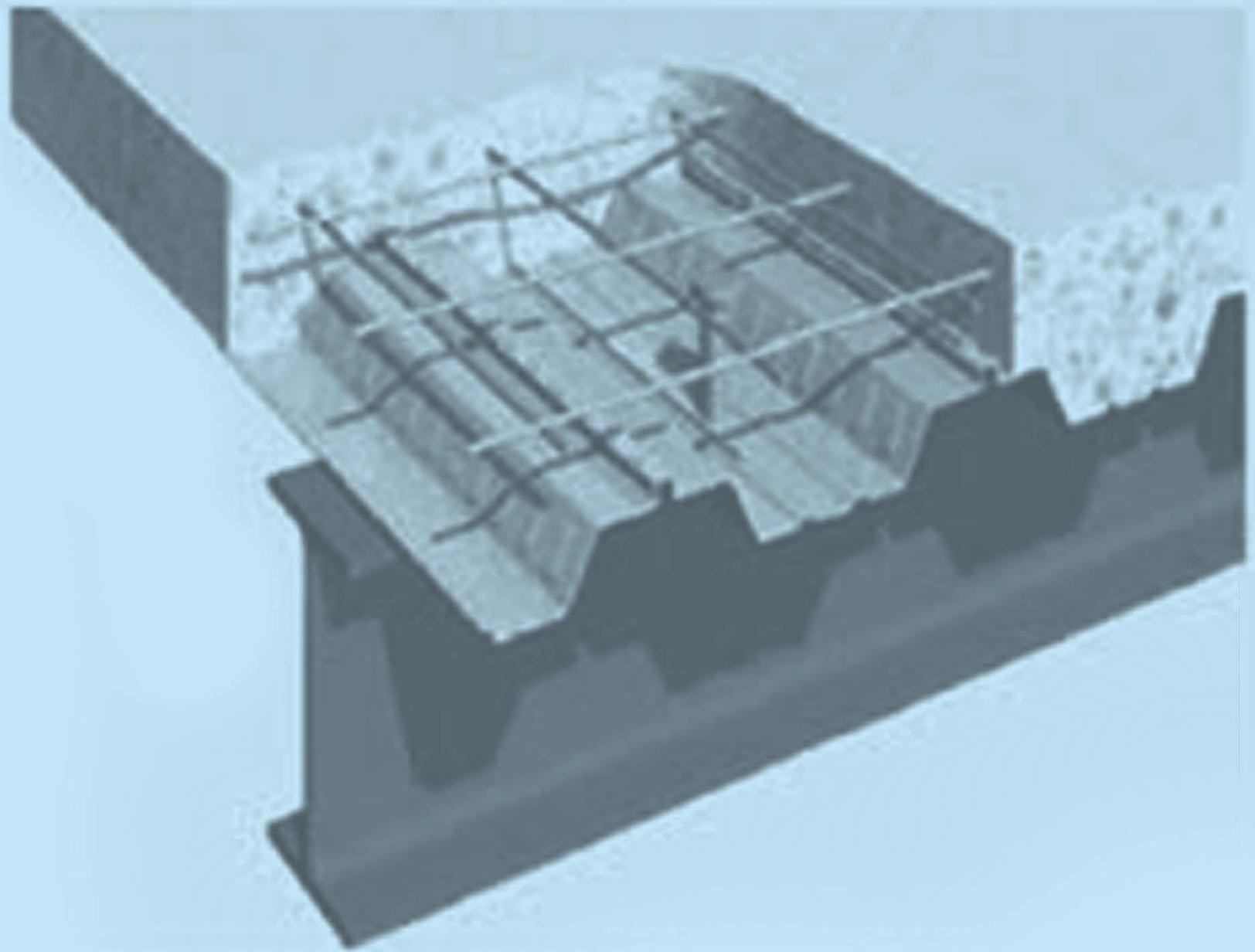


Recomendaciones



Recomendaciones

- 1) Construir la lámina en la Empresa MICALUM siguiendo las especificaciones indicadas en el presente trabajo, respetando las dimensiones de los parámetros tanto en las embuticiones como de la lámina en sentido general.
- 2) Aumentar el espesor de la lámina pudiendo evaluarse utilizar espesores de 1.00 mm.
- 3) No utilizar láminas sin recubrimiento galvanizado para evitar la corrosión temprana de las mismas
- 4) Pueden combinarse en la construcción de entresijos y cubiertas con esta lámina conectores sobre las vigas de apoyo, estos ayudarán a resistir la fuerza de cortante y garantizarán el trabajo conjunto de la losa colaborante con las vigas de apoyo.
- 5) Realizar pruebas a la lámina (ensayos m-k) para determinar el verdadero valor del momento último de cálculo de ella.
- 6) Realizar ábacos para facilitar el diseño de estructuras con esta lamina, variando las luces de apoyo, cargas y espesor de la losa.
- 7) Tomar un espesor máximo de losa de 15 cm para no hacer antieconómico el diseño y no imprimir grandes cargas a la lámina en la etapa de construcción.

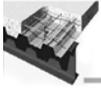


Bibliografía



Bibliografía

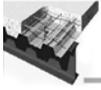
- Abadal, I., & Abadal, S. . (2003). *Análisis del comportamiento de las chapas nervadas de acero para losas mixtas*. (Tesis de Grado), Universidad Politécnica de Cataluña., Barcelona, España., Unpublished Proyecto Final de Carrera.
- Aceros, I. M. d. C. d. Manual de construcción de acero.
- ACIEROID. "Guía práctica de forjados colaborantes". 2001.
- Antropius, J. D. (1995). *Planchers a bacs colaborants*.
- ASCE. *Report of ASCE Task Committee on Composite Construction*.
- Bonilla, J. (2006). *Estudio preliminar del comportamiento de conectores en estructuras compuestas mediante simulación numérica*. (Tesis de Maestría), UCLV, Santa Clara Cuba.
- Bonilla, J., Larrúa, R., Mirambell, E., & Recarey, C. (2007). Aplicación de la simulación numérica al estudio del comportamiento de conectores tipo perno en estructuras mixtas de hormigón y acero. *Revista Ingeniería Civil, 148 (CEDEX), 14.*, 148.
- Bonilla, J. (2008). *Estudio del comportamiento tipo perno de estructuras compuestas de hormigón y acero mediante modelación numérica*. . (Tesis de Doctorado), Unpublished Ph. Dr. UCLV, Santa Clara, Cuba.
- Bresler. B. y otros: *Diseño de estructuras de acero*, Ed. Limusa, México, 1978.
- British Standards Institution: *Design of Concrete Structures, BSI, Milton Keynes, DD EVN 1992 -1-1, Eurocode2, Part 1.4*.
- C., M. J. (1975). *Diseño de estructuras metálicas*. Ed. Representaciones y servicios SA, México.
- Cabanas, P. G., Prandes Barrosos. R, González Gutierrez J.M., Soler de la Cruz. J. (1984). *Resistencia de materiales I*. Departamento de Ediciones del ISPJAE.
- Cadenas. I.: *La corrosión en las construcciones*, Universidad de Camaguey, 2000.
- Canadian Institute of Steel Construction: *Commentary on CAN / CSA - S16.1-94, 1994*.
- Carlin G.P; M. SMirza. (1996). Replacement of reinforced concrete deck of Champlain Bridge. *Canadian Journal of Civil Engineering, 23*, 1341 -1349.
- Cook, J. P. (1987). *Construcciones de sistema de piso compuesto de láminas de acero, concreto y largueros de acero*.



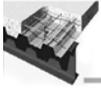
- Dallaine, E. E. (1971). Cellular Steel Floors Mature. Civil Engineering., 70-74.
- E.L., T. (1996). *Estudio experimental y analítico de sistemas de losas formadas por concreto y láminas acanaladas.*, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Easterlin W. S; Porter, M. L. (1994). Steel deck reinforced concrete. Diaphragms 1, *Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 120 No. 2*, 560-576.
- Eurode.(1984). Composite steel and concrete structures, First draft.
- Evans, H. R. e. a. (Mayo 1984). Full-scale load tests on CF4 steel deck composite beams with TRW Nelson THRU - deck welded stud shear connectors, Report UCC/Nelson/PMF, England.
- Evans, H. R. W. H. D. (1987). *Developments in the strength and stability of structures, Steel - concrete composite flooring deck structures.*(Vol. 1).
- Ferrer Ballester, M. (2006). *Estudio numérico y experimental de la interacción entre la chapa de acero y el hormigón para la mejora resistente de las losas.* (Doctoral), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- García Herrera, J. G. (1988). *Análisis de entresijos de hormigón y acero.* (Vol. Vol. IX No. 3). Cuba.
- González Valle, E. (1982). Interrogantes que plantea el cálculo de secciones compuestas. *Hormigón y Acero No. 145.*
- Grant, J. A. e. a. (1977). Composite beams with formed metal deck. *Engineering Journal of the American Institute of Steel Construction, 14. 1st quarter*, 24-42.
- Hansell, W. e. a. (1977). Composite beams with formed steel deck. *Engineering Journal, 14 (1)*(American Institute of Steel Construction).
- Heagler R. B., e. a. (1991). Steel Deck Institute. *Composite Deck Design Handbook, Ohio, Estados Unidos.*
- Hernández, L. (2003). *Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero a flexión con el empleo de láminas perfiladas.*(Doctoral), Universidad de Camagüey. (1)
- Hill, H. V. (1983). *Advantages of composite steel floor decks, Civil Engineering and public works review.*(Vol. Tomo I).
- IMSA:. (1998). Láminas acanaladas. Soluciones de acero recubierto para la construcción, México.
- Ing. Luis Hernández Rodríguez, D. I. R. L. Q., Ing. Mabel Pardo González, Ing. Martha Molina Padrón. (2003). *Revista Cimiento, 7.*



- Instadeck. Manual Técnico de instalación del producto decksteel (febrero 2010)
www.cintac.cl/pdf/manual_instadeck.pdf edición, noviembre 2010. *consultado 10-2-14.*
- Instadeck. *Manual técnico Sistema Constructivo Placa Colaborante Acero Deck.* from
www.alcor.com.ar/alcor_instadeck.pdf. Retrieved from
www.alcor.com.ar/alcor_instadeck.pdf
- Johnson, B. G. (1988). Diseño básico de estructuras de acero. *Ed. Prentice Hall México.*
- Johnson, R. P. (1974). Composite structures of steel and concrete.
- Johnson, R. P. (2006). *Models for the Longitudinal Shear Resistance of Composite Slabs, and the use of non - standard test data.* In R. T. León J. Lange (Eds.), *Composite Construction in Steel and Concrete V*
(Vol. Volumen V). Virginia: ASCE.
- Jolly, C., & Zubair, A. (1987). *Efficiency of Shear - Bond Interlock Between Profiled Steel Sheeting and Concrete.* *Composite Steel Structures. Advances, Design, and Construction.*
- Jordán de Urries de la Riva, J. (1989). *Estudio experimental del comportamiento a flexión. Tensiones rasantes y deformaciones de forjados compuestos de chapa y hormigones normales o ligeros.* (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid.
- Jordán de Urries de la Riva, J. (1991). *Forjados compuestos de chapa y hormigón: sus ventajas y sus limitaciones.*
- Jordán de Urries de la Riva, J. (1992). Forjados mixtos de chapa y hormigón.
- Jordán de Urries de la Riva, J., Lima Pochou, J., Álvarez Cabal, R. (1996). Forjados mixtos de chapa nervada y hormigón. Análisis de deformaciones de servicios.
- Lampert, W. B. M. L. P. (1990). Deflection Predictions for concrete slabs reinforced with steel decking. . *ACI Structural Journal*, 564-570.
- Larrúa, R. (1992). *Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero sometidas a flexión bajo carga estática con fundamentación experimental de los conectores.* (Tesis de Doctorado), ISPJAE, La Habana, Cuba.
- Larrúa, R. (1998). *Metodología de cálculo detallada. Losas compuestas SEDOM.* .
Universidad de Camagüey.
- Load. *and resistance factor design (LRFD).*
- Load. *and resistance factor design specification for structural steel buildings.*



- Loguercio, A. (1996). Estrepios mixtos. Su aplicación en edificio de estructura metálica.
- López Ávila, M. (2010). *Estudio del comportamiento de losas compuestas con lámina colaborante mediante la combinación de técnicas de experimentación y simulación numérica*. (Doctoral), Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. (1)
- López, M., Larrúa, R., & Recarey, C. (2007). Un nuevo sistema de diseño de embuticiones en láminas de acero para maximizar resistencia de losas compuestas. *Revista de Ingeniería de Construcción, Vol. 22, No. 3*.
- López, M., Larrúa, R., & Recarey, C. (2009). Estimación de la resistencia al cortante longitudinal en losas compuestas con lámina metálica colaborante. *Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 24 No. 1*.
- M., C. (1993). *Forjados mixtos de chapa plegada*.
- Martínez Calzón, J., Ortiz Herrera, J. (1978). Construcción mixta hormigón-acero.
- Medina Torri, F. (1995). Cargas de Edificaciones y obras de ingeniería., 2 TOMOS, TOMO 1 (Ed. Félix Varela), Página 45.
- Metaldeck. *Manual técnico* Acceso www.acceso.com/.../manual1%20técnico%20de%20metadelck.
- MIC. SSR 18 MICALUM Cienfuegos.
- Narayanan, R. (1988). Steel-concrete Composite Construction. Stability and Strength. *Ed. Elsevier Applied Science*.
- NC. (207:2003). Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón.
- NRMC. (082:2004). Cálculo de losas compuestas con láminas de acero colaborante sometidas a cargas estáticas. Código de buenas prácticas.
- P.W., H. (1990). *Composite floors with profiled steel sheeting*, .(PhD Thesis), Iniversity of Wales, Cardiff.
- Pardo, M. (2000). *Cálculo de estructuras compuestas de hormigón y acero con vigas de celosía*. (Tesis de Maestría), ISPJAE, La Habana, Cuba.
- Pisarenko, G., S., Yakovlev, A.P., Matreev, V.V. (1979). *Manual de resistencia de materiales*.
- Porter, M. L., Ekberg, C. E. (1975). Composite steel-concrete construction. *Journal of structural division. ASCE* (Subcommittee in the state of the art survey of the task.).

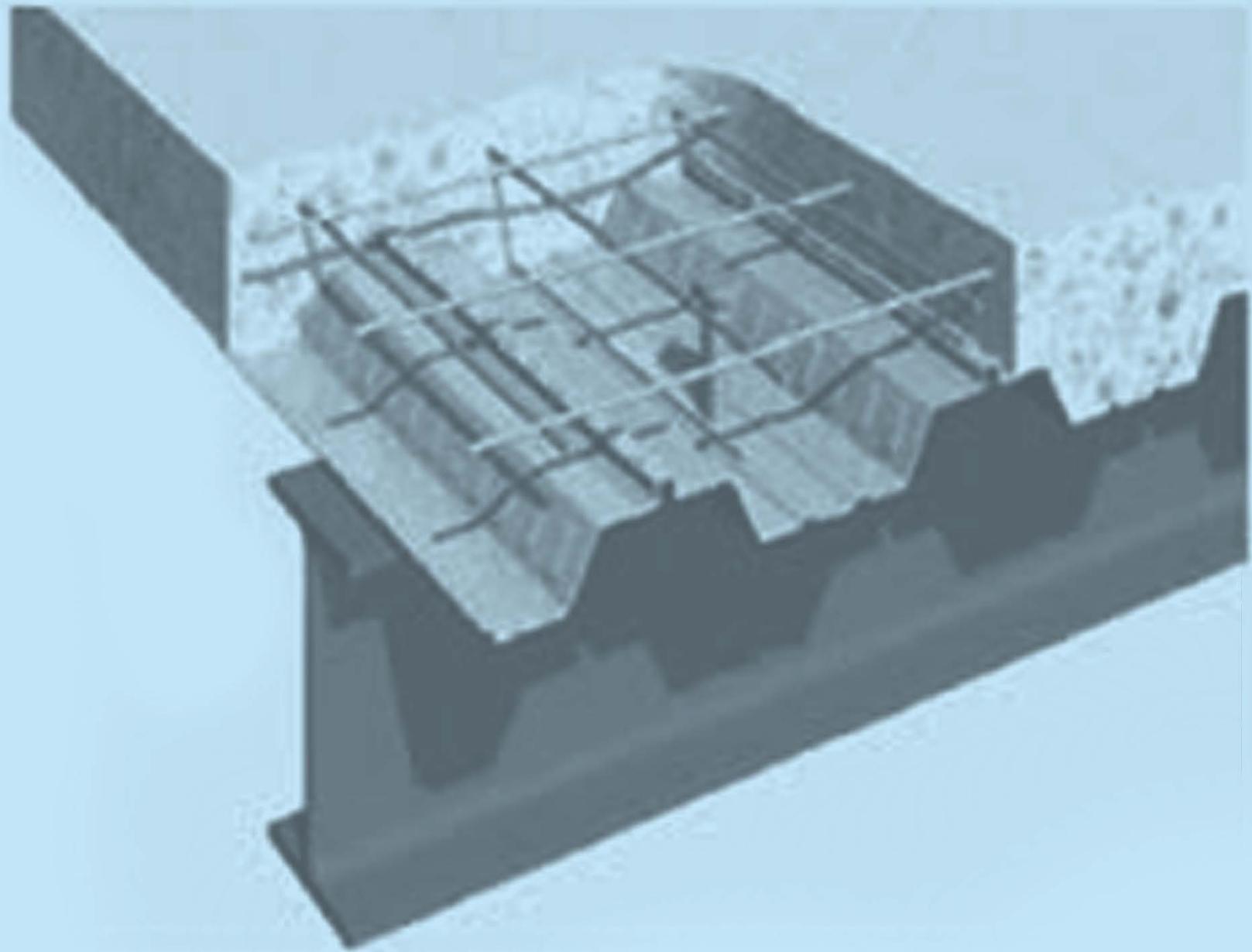


- Porter, M. L., Ekberg, C. E. (1980). Coating effects of cold formed steel deck slabs. 5
International special conference on cold formed steel structure. St Louis.
- Porter, M. L., Klaiber, W. (1981). Uniform loading for steel-deck reinforced slabs. *Journal of the structural division.*
- Reinhold, M., Shuster, R. M. (1976). Composite steel-deck concrete floor systems.
- ReverieguFabrellas, J. C. (1993). *Forjados especiales: Losas unidireccionles, prelosas, forjados en TT y losas mixtas con chapa nervada.*
- Revista. (1988). Ingeniería estructural. *Ciudad de la Habana, Cuba, Vol. IX, No. 3, Pág. 197 - 210.*
- Revista. (2003). *Cimientos Año 4 No.7, Pág. 21 - 24.*
- Ryanto, B. (1997). *Analysis and desing of steel deck-concrete composite slabs.*(Tesis Doctoral).
- Schuster, R. M. (1970). *Strength and Behavior of Cold-Rolled Steel-Deck Reinforced Concrete Floor Slabs.*(Thesis Doctoral), Universidad de Iowa,Iowa, Estados Unidos, Unpublished Tesis Doctoral.
- Seleim, S. (1979). *Ultimate Shear-Bond Capacity of Composite Steel Deck Concrete Slabs.* (Master Thesis), Waterloo University, Ontario, Canada., Unpublished Tesis de Masterado.
- Specification. *for the Design of Cold - Formed Steel Structural Members*
- Tomado. (Consultado 3-3-2014). from www.arquitecturaenacero.org/index.php
- Veljkovic, M. (1996). *Behaviour and resistance of composite slabs: experiments and finite element analysis.*(Thesis Doctoral), Unpublished Doctor, LuleaTekniska, Lulea, Sweden.
- Vicente, R. (2004). *Redistribución de esfuerzos en forjados de chapa nervada y hormigón continuos.* (Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid. (1)
- Winter G., N. A. H. (1977). Proyecto de estructuras de hormigón. *Ed. Ravelté Barcelona, España.*
- Wright, H. D. (Julio 1987). The use of profiled steel sheeting in floor construction. *Journal Construction Steel Research, 279-295.*
- Wright, H. D. E., H.R.: (1987). Observations on the desing and testing of composite floor slabs. *Steel Constructions Today, 1, 91-99.*



Yuan, H. (1996). *The resistances of studs shear connectors with profiled sheeting.*(PhD thesis), University of Warwick.

Zingali, A. E. (1986). Experimental tests on the collapse behaviour of cold formed steel deck reinforced slabs.



Anexos

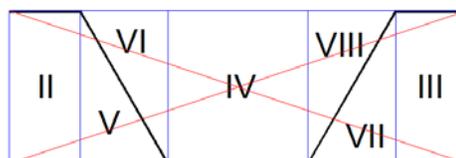
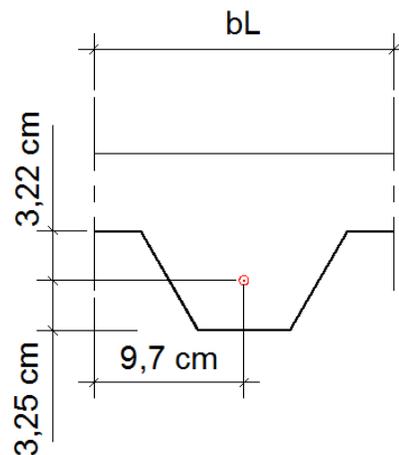


Anexos

ANEXO 1: Cálculo del centro de gravedad de la lámina por los métodos de resistencia de materiales.

CENTRO DE GRAVEDAD DE LA LAMINA EN EL ÁREA bL					
FIGURA	A (cm ²)	x(cm)	y (cm)	Ax(cm ³)	Ay(cm ³)
I	125.51	9.70	3.24	1217.45	406.65
II	-19.2	1.50	3.20	-28.80	-61.44
III	-19.2	17.90	3.20	-343.68	-61.44
IV	-37.88	9.70	3.27	-367.44	-123.87
V	-0.12	4.23	2.13	-0.51	-0.26
VI	-0.12	5.50	4.33	-0.66	-0.52
VII	-0.12	15.16	2.13	-1.82	-0.26
VIII	-0.12	13.89	4.33	-1.67	-0.52
Σ	48.75			472.88	158.35

X=	9.70
Y=	3.25





ANEXO 2: Tablas de cálculo según metodología para el cálculo de losas compuestas por el método simplificado según SECOM.

Estas tablas fueron utilizadas para seleccionar una lámina con características similares a la propuesta y obtener en esta última los valores producto de los ensayos m-k.

Tabla 2. Tabla de Selección para el cálculo de la losa compuesta.

$h_o = 5 \text{ cm}$ $h_r = 6,35 \text{ cm}$ $R'_{bk} = 25 \text{ MPa}$ $\gamma_b = 1,6$ $R_{apkt} = 260 \text{ MPa}$ $\gamma_{apt} = 1,1$ $R_{ak} = 300 \text{ MPa}$ $\gamma_a = 1,15$							
No.	δ_{sd} (cm)	M_u^* (kN m)	u (cm)	l_{sd} (cm ²)	l_h (cm ²)	l_e (cm ²)	M_{fs} (kN m)
Lámina Tipo A $b_{sdL} = 14,56\text{cm}$ $b_{ss} = 10,85\text{cm}$ $b_L = 31,92\text{cm}$							
1	0.122	8.387	3.536	37.230	3641.691	2727.792	1.878
2	0.091	6.412	3.519	27.170	3435.117	2430.706	1.737
3	0.076	5.724	3.513	23.905	3366.792	2328.664	1.691
4	0.061	4.747	3.505	19.444	3272.369	2183.798	1.628
Lámina Tipo B $b_{sdL} = 12,74\text{cm}$ $b_{ss} = 12,74\text{cm}$ $b_L = 30,91\text{cm}$							
5	0.091	6.011	3.171	26.508	3064.346	2177.328	1.528
6	0.076	5.073	3.163	21.872	2972.188	2041.321	1.468
7	0.061	4.149	3.155	17.516	2884.334	1907.313	1.412

No.	Valores de Cortante Último (V_u^*) (kN)						
	L= 1m	L= 1.5m	L= 2m	L= 2.5m	L= 3m	L= 3.5m	L= 4m
1	10.948	7.324	5.512	4.425	3.7	3.182	2.794
2	9.091	6.105	4.612	3.564	3.118	2.692	2.372
3	8.194	5.184	3.68	2.777	2.175	1.745	1.423
4	6.069	3.883	2.789	2.133	1.696	1.384	1.149
5	12.975	7.962	5.456	3.952	2.95	2.234	1.696
6	14.714	8.967	6.094	4.37	3.22	2.399	1.783
7	14.679	8.791	5.847	4.08	2.902	2.061	1.43

No.	Valores de Momento Último Negativo (M_{un}^*) (kN-m)					
	M_{un}^*1	M_{un}^*2	M_{un}^*3	M_{un}^*4	M_{un}^*5	M_{un}^*6
1	4.98	4.619	4.37	6.35	5.76	5.35
2	4.292	3.925	3.673	5.667	5.077	4.664
3	3.944	3.577	3.323	5.326	4.734	4.32
4	3.597	3.227	2.971	4.984	4.391	3.975
5	4.161	3.824	3.59	5.413	4.881	4.505
6	3.791	3.45	3.212	5.053	4.517	4.138
7	3.443	3.097	2.856	4.715	4.176	3.794

M_{un}^*1 para A1 - ϕ 9.5mm esp 20 cm	M_{un}^*4 para A1 - ϕ 12.7mm esp 20 cm
M_{un}^*2 para A1 - ϕ 9.5mm esp 25 cm	M_{un}^*5 para A1 - ϕ 12.7mm esp 25 cm
M_{un}^*3 para A1 - ϕ 9.5mm esp 30 cm	M_{un}^*6 para A1 - ϕ 12.7mm esp 30 cm