

Diseño de sistema para viviendas con lámina colaborante metálica.
System design for houses with sheet metal decking.



Ing. Katia Luis Garcia

Ingeniera Civil. Profesora con categoría docente de Instructor
Grupo de Investigación de Aerodinámica de las Construcciones. Instituto
Superior Politécnico José Antonio Echeverría de La Habana, Cuba.
Teléfono: 72663814 E-mail: katial@civil.cujae.edu.cu



Ing. Suamly Marrero Castro

Ingeniera Civil
Ministerio de la Construcción de Cuba
Teléfono: 78834210 E-mail: suamlymarrero@nauta.cu



Ing. Isel del Carmen Díaz Pérez

Ingeniera Civil. Máster en Ciencias. Profesora Auxiliar
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría de La Habana,
Cuba.
Teléfono: 72663828 E-mail: iselcarmen@civil.cujae.edu.cu

Recibido: 17-09-15
Aceptado 30-10-15

Resumen:

El uso de lámina colaborante es una práctica que ha alcanzado gran auge en el sector de la construcción. El sistema mixto lámina-hormigón ofrece mucha comodidad a los obreros y en ocasiones se convierte en la mejor opción para realizar construcciones en cortos periodos de tiempo. En este trabajo se realizó el diseño del sistema compuesto, obteniéndose la carga máxima que es capaz de resistir el mismo, resultando en el entorno de los 6400kg/m^2 , lo que significa que puede ser utilizado en diversos tipos de edificaciones. También se realizó el análisis ante carga puntual, el cual arrojó que la losa compuesta resiste ampliamente el efecto del punzonamiento ya que en las condiciones más desfavorables la carga está en el orden de 149kN.

Palabras clave: Sistema compuesto, Lámina colaborante, Carga máxima

Abstract:

The use of decking sheet is a practice that has achieved great boom in the construction sector. The sheet-concrete mixed system offers much comfort to the workers and sometimes becomes the best choice for construction in short periods of time. In this paper the design of the composite system was

performed, obtaining the maximum load which can withstand the same, resulting in the environment of 6400kg / m², which means that can be used in various types of buildings. The analysis was also performed to point load, which showed that the slab composed largely resists the effect of punching since in the worst conditions the load is in the order of 149kN.

Keywords: Composite system, Decking sheet, Maximum load

Introducción:

El sistema constructivo de entrepiso de losa con lámina de acero colaborante a nivel mundial se utiliza desde los años 50. En Estados Unidos surge la primera patente en 1926 (Galván, M. A., Velázquez, L. A., 2013), donde la conexión entre la carpeta de hormigón y la lámina colaborante se efectúa a través de platinas de acero (conectores de cortante) colocadas transversalmente y soldadas en el valle de la lámina de acero preformada. En Europa la introducción del entrepiso con lámina colaborante se sitúa a finales de la década de los 60. En Perú, desde mediados de los años 90, se comienza la utilización del sistema a través de la empresa Aceros Procesados S.A. Como todo sistema constructivo, los sistemas tipo deck (como comúnmente se le conoce), están regulados por diversos organismos internacionales destacándose como el más importante el Steel Deck Institute (SDI) con sede en la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos. (Sencico, 2010)

El mismo presenta variadas aplicaciones como edificios, centros comerciales, estacionamientos, techos inclinados, plataformas para muelles, losas para puentes peatonales y vehiculares, en general cualquier tipo de losas de entrepisos y sus variaciones.

Independientemente a los beneficios que ofrece este sistema, se considera un campo que continúa en desarrollo y perfeccionamiento de algunas dificultades. En estas losas se presentan tres tipos de fallos principales: fallos por flexión, fallo por cortante vertical y fallo por cortante longitudinal.

Entidades como el American Institute of Steel Construction (AISC) brindan diversas normativas para el uso de este sistema como construcción compuesta. Los estatutos del American Standard of Steel (ASSHTO) también brindan pautas para el uso del sistema con un mayor enfoque hacia el área de viales. Los criterios del American Standard of Testing Materials (ASTM) recopilan los requerimientos físicos y químicos de los materiales empleados para el sistema Metal Deck, así como los procedimientos y estándares de los ensayos que se requieren para verificar su comportamiento y cumplimiento ante determinadas condiciones (Sencico, 2010).

Entre las construcciones modernas este sistema se ha vuelto popular, debido a los diversos beneficios que presenta. El mismo tiene aplicación variada, tanto en estructuras de hormigón, metálicas como mixtas, ya que se acomoda a multitud de aplicaciones prácticas y a muchas situaciones diferentes en entrepisos para edificaciones. Propicia velocidad en la ejecución porque elimina el tiempo de desencofre tradicional. Las construcciones con el sistema de lámina colaborante se caracterizan por la limpieza y seguridad en la obra, gracias a su maniobrabilidad y fácil almacenamiento. Su fabricación a la medida de los proyectos ofrece resistencia estructural con menos peso. No es biodegradable por lo que no contamina otros materiales. Con este sistema se requieren menores espesores de hormigón en las losas de entrepiso debido al trabajo conjunto hormigón-lámina, disminuyendo el peso propio de la estructura. Presenta ahorro significativo ya que se logra eficiencia máxima tanto en el diseño como en la fabricación, obteniéndose un producto con una alta relación de resistencia a peso. Como resultado los costos de transporte, montaje y mano de obra se minoran considerablemente, lo que se traduce en ahorro económico. Apariencia estéticamente atractiva y variada según las preferencias del usuario. Las losas compuestas tienen alta capacidad de aislamiento térmico y acústico; es por ello que son muy utilizados en la construcción de edificios multifamiliares. Permite el diseño de superficies más grandes y con menos columnas, es por ello que se emplea frecuentemente en almacenes y estructuras de uso industrial. Este tipo de construcción puede ser empleada en cualquier clima siempre que se dé la protección necesaria, cumpliendo con las normas de durabilidad vigentes. Calidad uniforme gracias a la ingeniería involucrada y a las técnicas de producción continuamente en refinamiento. Durabilidad

garantizada, el sistema se ha utilizado en otros países por más de medio siglo evidenciando un comportamiento satisfactorio, lo cual es la mejor garantía de durabilidad.

Materiales y métodos:

Descripción del sistema

Este sistema constructivo tiene solo tres elementos: la placa colaborante, el hormigón y una malla metálica para evitar la fisuración. Si se utiliza sobre vigas metálicas, se agregan también conectores de corte, como se muestra en la figura 1. Al fraguar, el conjunto forma una unidad de acero-hormigón denominada losa con placa colaborante (Baldo, 2014).

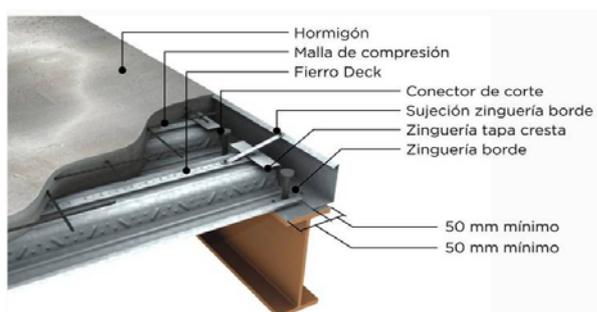


Figura 1 Sistema mixto con lámina colaborante.

La lámina de acero se obtiene a partir de laminado en frío (Ver Figura 2) y mediante bobinas de acero se logra una configuración grecada. Las láminas requieren protección galvánica G-90 y son sometidas a un proceso de inmersión en caliente en un baño de zinc fundido, obteniéndose los recubrimientos deseados. Entre las funciones principales de la lámina se encuentran: actúa como acero de refuerzo positivo para contrarrestar los esfuerzos de tracción que se producen en la fibra inferior, funciona como encofrado para recibir el hormigón fresco, soportando el peso propio de los materiales y las cargas de servicio y constituye una plataforma de trabajo segura para los obreros.

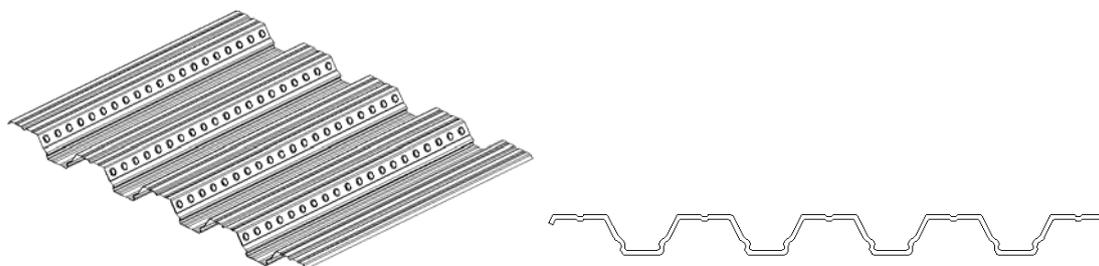


Figura 2 Lámina de acero propuesta para Cuba. Fuente: (EMPI, 2013)

Para el diseño del sistema solo se consideró como espesor de la lámina colaborante el espesor del acero base, sin incluir los espesores de galvanizado o pre-pintado, debido a que estos no aportan a la capacidad estructural del sistema. Los espesores de cálculo utilizados fueron 1,00mm y 1,50mm con una tolerancia máxima de 5% de su espesor. El ancho promedio de los valles debe ser superior a los 50mm y para efectos del cálculo se toma un valor no mayor que el ancho de la nervadura en la parte alta del encofrado. Las principales propiedades de la lámina se muestran en la tabla 1. La lámina de acero preformada de acero Grado 40 tiene un esfuerzo de fluencia mínimo de 272 MPa y un módulo de elasticidad de 210000 MPa.

Tabla 1 Principales propiedades de la lámina de acero

PROPIEDADES DE LA LÁMINA								
Espesor (mm)	Ancho Útil (mm)	Peso (kg/m ²)	As (mm ²)	I (mm ⁴)	S (mm ³)	Vny (N)	yc (mm)	W (mm ³)
1,00	820	9,69	1234,55	731765,02	44305,99	44555,65	35,8885	20389,96
1,50	820	14,53	1851,03	1098617,32	66764,99	73154	36,0691	30458,68

En el caso de la carpeta de hormigón debe cumplir las normas vigentes correspondientes (NC-207, 2003): "Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón", (NRM-082, 2004), (NC-250, 2005). En la figura 3 se muestra una sección transversal de la losa.

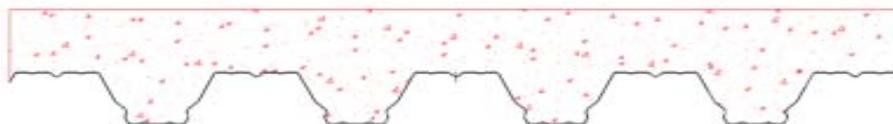


Figura 3 Sección transversal de la losa compuesta. Fuente: (Corps, 2014).

La sección compuesta por la lámina colaborante y el hormigón se diseñó como una losa de hormigón reforzada, donde el acero positivo es la propia lámina, garantizado por la adherencia entre los componentes del sistema.

La malla de temperatura (Ver Figura 4) tiene como función dentro del sistema, evitar la retracción en el hormigón como consecuencia de los cambios de temperatura y el proceso de fraguado, lo cual evita las fisuras tan indeseadas que atentan contra el buen funcionamiento, la estética y la durabilidad de la losa. El diseño de la malla de temperatura se condiciona a los requisitos habituales que debe cumplir el acero dentro del hormigón.

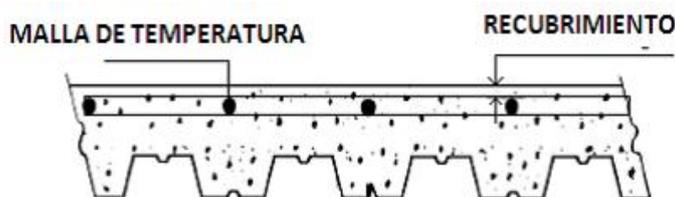


Figura 4 Detalle de la malla de temperatura y recubrimiento. Fuente: (Ostrilion, 2010)

Los conectores de cortante son dispositivos que garantizan un trabajo conjunto entre la sección compuesta por la lámina de acero y la carpeta de hormigón con la viga secundaria. Las primeras formas de conexión se soldaban en el taller, utilizando la soldadura convencional por arco eléctrico. Los tipos más comunes son los conectores de asa y los conectores en T. Otras de las primeras conexiones son en forma de bloque con lazo y en ángulo (Ostrilion, 2010); también pueden aparecer en forma de depresiones o relieves en las caras laterales de la lámina y/o en forma de pequeños agujeros o perforaciones incompletas. En la actualidad la conexión más usada es mediante espiga, ya que la soldadura se hace en la actualidad muy sencilla gracias a los avances tecnológicos, controlando dicha tarea en ocasiones mediante un computador. Para colocar los conectores en primer lugar se debe perforar la lámina antes de instalar los mismos. Este proceso puede ser realizado mediante brocas sacabocados o algún sistema de corte mecánico. La perforación en ningún caso se efectúa mediante sistemas de arco eléctrico y se debe realizar por el reverso de la lámina de modo que no perjudique la viga metálica de apoyo.

Metodología de diseño

El diseño del sistema constructivo para entresijos y cubierta del tipo Deck involucra dos etapas principales de trabajo. La primera, cuando el hormigón se encuentra en estado fresco sobre la plancha de acero colaborante que funciona como encofrado. La segunda, cuando el hormigón endurece y existe un trabajo conjunto como sección compuesta, en la cual la plancha funciona principalmente como acero de refuerzo en la zona de momentos positivos. El procedimiento que se utiliza en este trabajo se muestra a continuación (Marrero, 2015).

El procedimiento seguido en este trabajo es el siguiente:

- A. Calcular las luces máximas sin apuntalamiento de la lámina de acero como encofrado, mediante el Método de Tensiones Admisibles.
- B. Calcular las cargas máximas que resiste el sistema mixto por el Método de Estados Límites Últimos.
- C. Revisar el sistema ante la acción de cargas puntuales a partir de los resultados obtenidos en los puntos 1 y 2.

D. Obtener la cantidad de conectores de cortante necesarios para evitar el fallo longitudinal del sistema.

A. Diseño de la lámina como encofrado.

Utilizando el Método de las Tensiones Admisibles se diseñó la lámina como encofrado bajo el efecto de la carga constructiva distribuida y carga puntual en el centro de la luz. Para cada caso se variaron los espesores de losa desde 110mm hasta 250mm y con espesores de lámina de 1mm y 1,5mm. Según el método planteado se debe cumplir la siguiente condición:

$$\gamma_{1k} \leq \gamma_{2 \text{ admisible}} \quad (1)$$

Donde:

γ_{1k} : Representa el valor de tensiones o cargas actuantes, con sus valores normativos o característicos.

$\gamma_{2 \text{ admisible}}$: Representa el valor de las tensiones, fuerzas o resistencias admisibles del material de trabajo (acero, hormigón, madera, suelo, etc.).

Cuando la lámina tiene que soportar la carga distribuida se cumple que:

$$\sigma_{\text{calculada}} \leq \sigma \quad (2)$$

Donde:

$\sigma_{\text{calculada}}$: Tensión normal calculada

σ : Tensión normal admisible

Cuando la lámina tiene que soportar la carga concentrada se tiene que cumplir el mismo criterio solo varía el valor de momento flector a considerar dentro de la $\sigma_{\text{calculada}}$. En ambos casos se igualó la $\sigma_{\text{calculada}}$ con la σ para despejar la máxima longitud que soporta la lámina sin apuntalamiento temporal, en caso de necesitarlo este se coloca generalmente en el centro o en los tercios de las luces. El tipo de apuntalamiento que se utilice debe estar claramente indicado en los planos y debe ser colocado en su posición antes de la instalación de las láminas y permanecer en dicha posición hasta que el hormigón alcance el 75% de su resistencia máxima.

En el cálculo de la deformación de la lámina solo se consideró el peso propio de la misma y el peso propio del hormigón, sin considerar las cargas constructivas. Se debe cumplir que:

$$\Delta_{\text{calculada}} \leq \Delta \quad (3)$$

$$[\Delta] = \frac{L}{180} \quad (4)$$

Donde:

$\Delta_{\text{calculada}}$: Flecha calculada

Δ : Flecha admisible

B. Diseño del sistema compuesto por lámina colaborante y carpeta de hormigón.

El sistema puede estar sometido a cargas uniformemente distribuidas o puntuales, prestando especial importancia a estas últimas y a aquellas que son productos de efectos dinámicos; en el caso de este trabajo solo se tuvieron en cuenta las cargas uniformemente distribuidas y el diseño de la sección compuesta se realizó a través del método de los Estados Límites Últimos, siguiendo el procedimiento descrito en la NRM- 082:2004: "Cálculo de losas compuestas con láminas de acero como encofrado colaborante sometidas a cargas estáticas. Código de buenas prácticas" (NRM- 082, 2004).

El Método de los Estados Límites Últimos demanda que las cargas de servicio o las fuerzas y momentos internos producidas por ellas, se incrementen mediante los factores de carga o ponderación especificados, y que las resistencias nominales calculadas de los materiales se reduzcan a través del factor de reducción de resistencia, ajustándolo a la sollicitación que está actuando en el elemento en cuestión: flexión, cortante, torsión, etc. El mismo plantea que se debe cumplir que:

$$S_u \leq \phi S_n \quad (5)$$

Donde:

S_u : Sollicitaciones actuantes incrementadas mediante factores de ponderación

S_n : Resistencias nominales calculadas de los materiales

ϕ : Factor de reducción de resistencia

B1. Diseño por el criterio de flexión

En el diseño del sistema como sección compuesta, la lámina colaborante se consideró como el refuerzo positivo para la losa en los diferentes vanos. La losa fue diseñada considerando que sobre la misma actúa una carga uniformemente distribuida, por lo que para cargas concentradas de grandes valores se tuvo que realizar un análisis adicional. Para todos los cálculos efectuados se tuvo en cuenta, solamente, el peso propio de los materiales, obteniéndose valores de carga sobreimpuesta.

Se ha demostrado experimentalmente que para adquirir la capacidad última de momento a la sección compuesta se requiere de un elevado número de conectores de cortante sobre la viga perpendicular a la dirección principal de la lámina (Ostrilion, 2010); por lo que el diseño a través del método de los estados límites no se debería aplicar para losas sin la presencia de conectores de cortante o con un número muy reducido de estos. Basado en este criterio se asume como dato de partida que el sistema cuenta con suficientes conectores de cortante.

Se diseñó el sistema como una estructura continua de diferentes vanos. El cálculo del refuerzo negativo necesario para que la losa adquiriera este comportamiento se encuentra detallado en la NC-207: 2003 "Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón", La malla de temperatura no sustituye la cuantía necesaria para este fin. (NC-207, 2003)

$$M_u \leq \phi M_n \quad (6)$$

Donde:

M_u : Momento actuante

M_n : Momento resistente

ϕ : Factor de reducción de resistencia

Para la determinación del momento nominal es necesario calcular primeramente la posición de la línea neutra dentro de la sección, según la NC 082: 2004, donde se especifican diferentes casos de posición de línea neutra.

En todos los cálculos realizados la posición de la línea neutra se encontró dentro de la carpeta de hormigón, trabajando la sección como un rectángulo y consecuentemente se continuó con el procedimiento descrito por el caso uno de la NC 028 del 2004. (NC 082, 2004) (Ver figura 5).

❖ Caso 1: Línea neutra dentro del hormigón $c \leq h_0$ (ver figura 5)

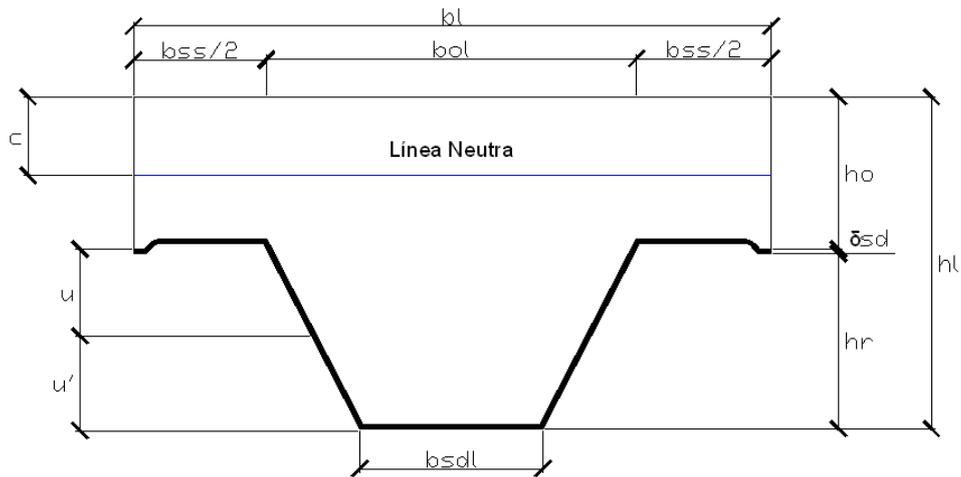


Figura 5 Caso 1, Línea Neutra dentro del hormigón. Fuente: NC 082: 2004

El valor de la posición de la línea neutra (c), se obtuvo mediante la ecuación 7 y el valor del momento nominal a través de la ecuación 8.

$$c = \frac{A_s f_{yp}}{0.85 f'_c \beta b_1} \quad (7)$$

$$M_n = 0.85 f'_c \beta b_1 c - \frac{\beta c}{2} + A_s f_{y1} u + h_o - c \quad (8)$$

Donde:

c : posición de la línea neutra para el momento nominal positivo, medido desde el borde superior de la sección transversal.

A_s : Área de acero de la lámina usada como refuerzo positivo.

f_{y1} : Tensión de fluencia del acero de la lámina (272 N/mm^2).

f'_c : Resistencia a compresión del hormigón (20 MPa).

β : Depende de la calidad del hormigón, (para $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ corresponde una $\beta = 0.85$)

Los valores de b_1 , u , h_o se toman de la sección según se observa en la figura 5.

B2. Diseño por el criterio cortante de la sección compuesta

Como parte del diseño del sistema también se realizó la revisión de resistencia de la sección a cortante, teniendo en cuenta el área de hormigón disponible para tomar dicha sollicitación. La revisión se realizó según la ecuación 9.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (9)$$

Donde:

V_u : Cortante actuante

V_n : Cortante resistente

ϕ : Factor de reducción de resistencia

Según este procedimiento existen dos posibles casos para obtener el valor del área de hormigón que aporta la sección a la resistencia a cortante. Estos casos son cuando hay traslape de áreas y cuando no existe traslape de áreas. Se trabajó con áreas sin traslape hasta el espesor de 140mm. A partir de 150mm en adelante se trabajó con áreas traslapadas. El procedimiento se encuentra descrito detalladamente en la NRMC- 082:2004 (NRMC-082, 2004) y en el trabajo de (Corps, 2014).

B3. Diseño por el criterio de deformación de la sección compuesta

Las deformaciones verticales del sistema compuesto, obtenidas con las cargas establecidas, deben limitarse según la Tabla 2.

Tabla 2 Flechas máximas permisibles en edificaciones. (NRMC-082, 2004)

Tipo de elemento	Flecha considerada	Flecha límite
Azoteas planas que no soportan ni están ligadas a elementos no estructurales que pueden ser dañadas por flechas excesivas.	Flecha instantánea debida a la carga viva.	$\frac{L}{180}$
Entrepisos que no soportan ni están ligadas a elementos no estructurales que pueden ser dañadas por flechas excesivas.	Flecha instantánea debida a la carga viva.	$\frac{L}{360}$
Sistema de entepiso de azotea que soportan o están ligadas a elementos no estructurales susceptibles de ser dañados por flechas excesivas.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la construcción de los elementos no estructurales, o sea la suma de las deflexiones a largo plazo como consecuencia de todas las cargas sostenidas y las deflexiones instantáneas que ocasionan cualquier carga viva adicional.	$\frac{L}{480}$
Sistema de entepiso de azotea que soportan o están ligadas a elementos no estructurales no susceptibles de ser dañados por flechas excesivas.		$\frac{L}{240}$
Vigas soportes de puentes grúa: ❖ Grúas operadas a mano. ❖ Grúas eléctricas.	Deflexión total	$\frac{L}{500}$ $\frac{L}{600}$

La deformación total de la estructura está dada por la flecha instantánea y la flecha diferida. La ecuación 10 muestra cómo se obtuvo la flecha instantánea.

$$\Delta_i = k \frac{ML^2}{EI} \quad (10)$$

Donde:

Δ_i : Flecha instantánea.

k : Coeficiente que evalúa las condiciones de apoyo del elemento.

E : Módulo de deformación del material.

I : Inercia de la sección.

M : Momento flector

L : Luz de la viga

El valor de la inercia de la sección depende de la fisuración, o no, del elemento, adoptándose para elementos no fisurados la inercia de la sección homogeneizada (I_h) y para los elementos fisurados la inercia efectiva (I_e).

En todos los casos se trabajó con la inercia de la sección homogeneizada, partiendo del criterio que el elemento no se fisura.

C. Revisión de la sección compuesta por punzonamiento.

El punzonamiento es un estado que se alcanza por agotamiento de la pieza bajo tracciones que se deben a tensiones tangenciales; motivadas por una carga o reacción localizada en una pequeña superficie de un elemento bidireccional de hormigón armado. Se caracteriza por la formación de una superficie de fractura de forma tronco-piramidal, cuya directriz es el área cargada (NC-207, 2003).

Generalmente el chequeo de este fenómeno está asociado al efecto que le produce una columna a la losa, pero en este caso el efecto analizado lo origina una carga puntual desconocida. Para el análisis se necesitan las dimensiones de la sección transversal que resiste la carga, esta es variable por lo que se trabajó en función de dos factores que representan las dimensiones de la sección transversal (c_1 como dimensión mayor y c_2 como dimensión menor).

Se buscó la máxima carga vertical de compresión que puede actuar sobre la losa compuesta, de manera tal que no falle por punzonamiento. La revisión se realizó según la ecuación 11.

$$N_p \leq \phi V_c \tag{11}$$

La resistencia a cortante (V_c) se determinó mediante la ecuación 12 para losas trabajando en dos direcciones; entiéndase losas apoyadas en dos bordes, en tres y cuatro bordes; o lo que es lo mismo, en aquellas donde la rectangularidad ($m=luz\ larga/luz\ corta$) sea menor o igual a 2.

$$V_c = 0.33\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \tag{12}$$

b_0 : Perímetro de la sección crítica para cortante en losas y zapatas

d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el baricentro del refuerzo longitudinal en tracción

$\sqrt{f'_c}$: Raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón

V_c : Resistencia nominal al cortante proporcionada por el hormigón

Para el análisis del punzonamiento existen tres casos (Ver Figura 6), pero para este trabajo se eligió el primero (carga rectangular interior) ya que es el caso crítico.

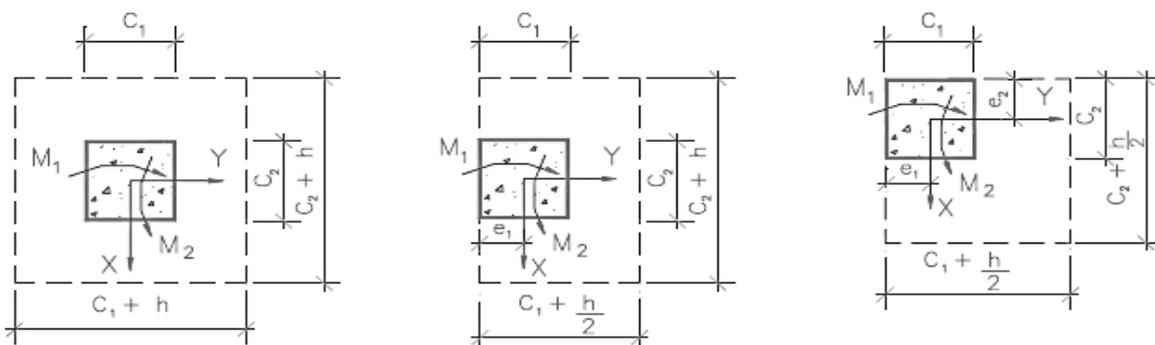


Figura 6 Casos para el cálculo de punzonamiento: Carga rectangular interior, al borde y en la esquina respectivamente. Fuente: (NC-207, 2003).

Según la (NC-207, 2003) para carga rectangular interior se empleó la siguiente expresión:

$$b = 2(c_1 + c_2) + 4d \tag{13}$$

Para determinar el perímetro crítico se necesitan conocer las dimensiones de la carga; pero al ser desconocidas se procedió a utilizar una relación entre los lados con tres valores de rectangularidad

(1; 1,50; 2,0). El procedimiento se desarrolló variando los espesores de la sección compuesta de 110mm a 250mm. La menor dimensión de la carga se varió desde 100mm, hasta 600mm en algunos casos, dependiendo siempre del valor de la rectangularidad donde se obtenga un área crítica coherente para revisar punzonamiento. La revisión se realizó para el menor espesor de losa compuesta y con el menor espesor de lámina.

D. Cálculo de conectores de cortante.

Debido a la gran importancia que tiene garantizar un trabajo conjunto de la sección compuesta se analizó el cortante longitudinal en el caso crítico (lámina de 1,5mm de espesor y carpeta de hormigón de 250mm de peralte). Dicho procedimiento tiene como objetivo obtener un número de conectores de cortante para cumplir con la funcionalidad del sistema Deck y evitar el fallo longitudinal. La metodología del procedimiento se realizó según la (NRM-082, 2004) aunque se empleó la nomenclatura de la LRFD (McCormac,1989), compatibilizando de esta manera las expresiones de ambas normas.

Procedimiento de cálculo de conectores

- a) Verificar los requisitos para la lámina de acero. Según la LRFD (McCormac,1989), y la (NRM-082, 2004) se debe chequear:
- Altura nominal del nervio de acero h_r (máx.)
 - Espesor de la losa por encima de la lámina de acero, como mínimo debe ser: 2"
 - Espesor promedio del nervio de hormigón W_r (mín) = 2".
 - Diámetro del conector máximo es $(3/4)"$
 - Altura del conector (ecuación 14)

$$H_s \geq h_r + e \quad (14)$$

e: holgura entre la viga principal y la secundaria del sistema

- b) Cálculo de ancho efectivo (b_e)

$$b_e = 2 \cdot \frac{L}{8} \quad (15)$$

$$b_e = 2 \cdot \frac{S}{2} \quad (16)$$

L: Luz entre vanos

S: Distancia entre apoyos perpendicular a los vanos

Se escoge el menor de los dos criterios.

- c) Cálculo de la fuerza cortante horizontal total transferida (V_h)

En zonas de momento positivo:

Para nervaduras de la lámina perpendiculares a la viga secundaria debe cumplirse que:

$$0,85f'_c \cdot A_c + f_{yL} \cdot A_L \geq A_p \cdot f_{yp} \quad (17)$$

Donde:

f'_c : La resistencia de cálculo a compresión del hormigón $f'_c = 20 \text{ MP}_a$

A_c : Área de hormigón en la sección transversal

f_{yp} : Resistencia de cálculo a tracción del perfil de A-36 como calidad de acero

A_L : Área de la lámina en la sección transversal

A_p : Área del perfil en la sección transversal

Cuando se cumple con este criterio la fuerza cortante horizontal total transferida (V_h) se calcula mediante la expresión siguiente:

$$V_h = \mu \cdot A_p \cdot f_{yp} \quad (18)$$

Donde:

μ : Coeficiente de fricción.

En zonas de momento negativo:

Atendiendo que la capacidad resistente a flexión se determinó tomando en cuenta la sección de la viga metálica y el acero de refuerzo longitudinal ubicado en el ancho efectivo de la losa de trabajo conjunto, se diferencian los casos generales de interacción completa e interacción parcial. También se tiene en cuenta que la lámina de acero dispone de conectores en la región de momentos negativos.

Cuando se adopta el criterio de diseño de interacción parcial para losa con lámina, debe cumplirse que:

$$V_{hn} < A_s \cdot f_y + f_{yL} \cdot A_L \quad (19)$$

Donde:

A_s : Área de acero de refuerzo en tracción para momento negativo determinada a partir de las cargas sobrepuestas obtenidas en los trabajos precedentes.

f_y : Tensión de fluencia de las barras de acero de calidad G-40

d) Cálculo de la capacidad nominal del perno (Q_n)

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{perno} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \quad (20)$$

Donde:

A_{perno} : Área del perno

E_c : Módulo de deformación del hormigón

Se debe cumplir que:

$$Q_n < A_{perno} \cdot F_{u\ perno} \quad (21)$$

Donde:

F_u : La resistencia última de tracción

e) Reducción de la capacidad resistente del conector.

$$\frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{w_r}{h_r} \cdot \left[\frac{H_s}{h_r} - 1 \right] \leq 1 \quad (22)$$

Suponiendo que el número de conectores de un nervio en una intersección con la viga es $N_r = 1$

H_s , h_r , W_r , son características geométricas del perfil elegido como viga

f) Cálculo del número de pernos (N_1)

Para zonas de momentos positivos

$$N_1 = \frac{V_h}{Q_n} \quad (23)$$

Donde:

V_h : Fuerza cortante horizontal total transferida en zona de momento positivo

Q_n : Capacidad nominal del perno

Para zonas de momentos negativos

$$N_1 = \frac{V_{hn}}{Q_n} \quad (24)$$

Donde:

V_{hn} : Fuerza cortante horizontal total transferida en zona de momento negativo

Resultados y discusiones:

Lámina como encofrado

Los resultados del análisis de la lámina como encofrado arrojaron que bajo los efectos de la carga constructiva distribuida, para la lámina de 1mm de espesor, la menor luz sin apuntalamiento es para el espesor total de 250mm con una luz de 2,15m. En el caso de la carga puntual constructiva, para espesor de lámina de 1mm al actuar en el centro de la luz de cálculo, no interfiere el espesor del sistema en el cálculo del apuntalamiento, obteniéndose una luz máxima de 15,45m. Por consiguiente no habrá que usar apuntalamiento bajo carga puntual ya que la mayor longitud entre apoyos es de 6,0m.

En el caso de la lámina de espesor de 1,5mm se obtuvo que bajo los efectos de la carga constructiva distribuida la menor luz sin apuntalamiento es para el espesor total de 250mm con una luz de 2,65m. Para el análisis ante carga concentrada se obtuvo que no interfiere el espesor del sistema en el cálculo del apuntalamiento, obteniendo una luz máxima de 23,10m. Por consiguiente no habrá que usar apuntalamiento bajo carga puntual en el sistema ya que la mayor longitud entre apoyos es de 6,0m.

La longitud máxima sin apuntalamiento después de realizados todos los cálculos pertinentes quedó fijada por el criterio de deformación, donde los valores de apuntalamiento van disminuyendo a medida que aumenta el espesor del sistema, obteniendo mayores luces de apuntalamiento para la lámina de 1,50mm de espesor.

Diseño de sistema mixto

En el caso del sistema para un solo vano con lámina de 1mm de espesor la solicitación predominante fue deformación, exceptuando tres casos donde primó el criterio de flexión: espesor de 240mm con luz de 3,6m y espesor de 250mm con luces de 3,8 y 4,0m. Para este mismo espesor pero con dos vanos el criterio predominante fue deformación, exceptuando los siguientes casos donde primó flexión: espesor de 160mm luces de 3,2 y 3,4m, espesor de 170mm luces de 3,4 a 3,8m, espesor de 180mm luces de 3,4 a 4,2m, espesor de 190mm luces de 3,6 a 4,6m, espesor de 200mm luces de 3,8 a 5,0m, espesor de 210mm luces de 3,8 a 5,4m, espesor de 220mm luces de 4,0 a 5,8m y espesores de 230, 240 y 250mm completos. En el caso de tres vanos el criterio predominante también fue deformación exceptuando los siguientes casos donde primó flexión: espesor de 190mm luz de 3,6m, espesor de 200mm luces de 3,8 y 4,0m, espesor de 210mm luces de 3,8 a 4,2m, espesor de 220mm luces de 4,0 a 4,6m, espesor de 230mm luces de 4,2 a 4,8m, espesor de 240mm luces de 4,2 a 5,4m y espesor de 250mm luces de 4,2 a 5,8m.

Para el sistema con lámina de espesor de 1,5mm, con un vano y tres vanos, el criterio predominante fue deformación. Para dos vanos predominó la deformación exceptuando los siguientes casos donde primó flexión: espesor de 240mm luz de 5,0m y espesor de 250mm luces de 5,0 a 5,4m.

Al seleccionar las menores cargas, para cada luz de los tres criterios, se registraron valores en el entorno de los 6400kg/m^2 . Como en este trabajo se diseñó el sistema para viviendas, la carga máxima se limitó a 1950kg/m^2 , resaltando que podría ser utilizado en naves industriales, almacenes, entre otros. El valor de cortante nunca fue una sollicitación predominante, aunque en los mayores espesores en combinación con las menores luces de cálculo posee (en algunos casos) valores menores que los de momento. Esta situación se acrecienta según aumentan los vanos. Un resultado importante es que en los dos espesores de lámina para un vano no se puede utilizar el sistema con luz de 6,0m.

Revisión de la sección ante cargas puntuales

El análisis de los resultados arrojó que la carga de punzonamiento para el menor espesor de losa compuesta, con menor espesor de lámina, está en el orden de 149kN. Al resultar una carga tan grande, se puede afirmar que la losa resiste ampliamente el efecto del punzonamiento y por lo mismo no tiene sentido calcularlo para espesores de láminas mayores, ya que siempre va a resistir.

No obstante deben tenerse en cuenta para el análisis de cargas concentradas las recomendaciones establecidas en la (NRM-082, 2004). En la misma se establecen criterios que diferencian cuando actúan cargas pesadas de cuando actúan cargas pequeñas.

Cálculo de conectores

Finalmente se obtuvo que es necesario 1 conector por valle para evitar el fallo por cortante longitudinal, para un total de 30 pernos en las zonas de momento positivo y 16 pernos en las zonas de momento negativo, sumando un total de 46 pernos.

Conclusiones:

La lámina de acero (en ambos espesores) actuando como encofrado necesita de apuntalamiento para todas las longitudes entre apoyos que se utilizaron. Las longitudes de apuntalamiento están en un rango entre 1,30 y 2,10m.

En ambas láminas el criterio predominante es deformación, con luces de cálculo específicas donde predomina la flexión. El sistema gracias a las prestaciones que tiene y por las cargas que es capaz de soportar, en el entorno de los 6400kg/m^2 , puede ser utilizado en diversas edificaciones como son: centros comerciales, estacionamientos y plataformas para muelles.

El análisis ante la carga puntual arrojó que la losa resiste ampliamente el efecto del punzonamiento puesto que la carga para el menor espesor de losa compuesta, con menor espesor de lámina, está en el orden de 149kN.

Al chequear el fallo por cortante longitudinal, la disposición de conectores por cálculo fue de un conector por valle, tanto en zonas de momento negativo, como positivo.

Bibliografía:

1. Baldo, P. (2014) "Sistemas Steel Deck: encofrado perdido y armadura". Plataforma Arquitectura. [En línea], <http://www.clarin.com>.

2. Corps, W. (2014) Trabajo de Diploma "Diseño de sistema con plancha colaborante para entresijos y cubierta en viviendas". La Habana.
3. Galván, M. A., Velázquez, L. A. (2013) Sistemas Constructivos de Alta Tecnología. Acero. Santiago de Querétaro, México.
4. Marrero, S. (2015) Trabajo de Diploma "Diseño del sistema con lámina colaborante por los criterios de punzonamiento y cortante longitudinal. Diseño de vigas". La Habana.
5. McCormac, J. C., & Nelson, J. K. (1989) Structural steel design: LRFD method. Harper & Row.
6. Oficina de normalización de cargas, NC-207 2003. "Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón". La Habana.
7. Oficina de normalización de cargas, NRM-080 2004. "Cálculo de entresijos compuestos de hormigón y acero con vigas de alma llena, sometidos a cargas estáticas. Código de buenas prácticas" . La Habana.
8. Oficina de normalización de cargas, NC-250 2005. "Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de edificaciones y obras civiles de hormigón estructural". La Habana.
9. Ostrilion (2010) Sistema de paneles colaborantes para ejecución de losas mixtas. Buenos Aires, Argentina.
10. Sencico (2010) Manual Técnico. Sistema constructivo placa colaborante. Acero-Deck. Lima, Perú.