

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y  
ECONÓMICO DE LOSAS COLABORANTES  
UNIDIRECCIONALES CON LOSAS ALIGERADAS.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**BACHILLER:**

**Andersson Nielser Nilthony Rodríguez Chávarry.**

**ASESOR:**

**Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno.**

**Cajamarca, abril del 2015.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis asesores y maestros Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno y Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez por el constante apoyo y dedicación al desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, que a través de sus docentes me brindaron los conocimientos y ayuda necesarios para poder realizar este trabajo de investigación.

A mis amigos Gilmer Villanueva, Alex Palomino, Arturo Villanueva, Marco Malaver, Reymund Lobato, Alexander Huamán quienes compartieron sus experiencias profesionales y conocimientos académicos durante el desarrollo de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por haberme dado la vida, la familia y los amigos que tengo, y por enseñarme que cada día es una nueva oportunidad para mejorar.

### **A MIS PADRES**

Que han sabido guiarme de la mejor manera en la vida, por darme su amor, fuerza, comprensión y por estar siempre conmigo.

### **A MIS HERMANOS**

Cecilia y Joseph por ser los mejores amigos que puedo tener, por las enseñanzas que cada día recibo de ellos, por su apoyo y cariño incondicional.

### **A MIS AMIGOS**

Con quienes he compartido mis ideas, y en especial a quienes me apoyaron incondicionalmente.

## RESUMEN

El concreto armado es uno de los materiales estructurales más usados en la construcción hoy en día. Sin embargo, la construcción compuesta ha representado en los últimos años una gran ventaja con respecto al concreto armado, ya que aliviana el peso y el costo de las estructuras. En las estructuras compuestas podemos encontrar el sistema de losa colaborante, el cual está conformado por láminas de acero que trabajan como encofrado y constituyen el refuerzo positivo cuando el concreto fragua.

El objetivo principal de esta tesis es analizar y comparar el comportamiento estructural y económico de una losa aligerada y una losa colaborante utilizando placas AD-600, evaluar el efecto de la lámina de acero y establecer un procedimiento válido para diseño y modelamiento. Logrando así comprender mejor el comportamiento de las losas aligeradas y colaborantes.

Luego de los estudios realizados proponemos reemplazar las losas aligeradas por losas colaborantes, ya que estas últimas tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Para el uso de viviendas, disminuyen el peso propio de la losa aligerada de 280 Kg/m<sup>2</sup> a 232.32 Kg/m<sup>2</sup>, disminuyendo así el peso del sistema en un 17.03 %.
- ✓ Las losas colaborantes reducen el costo por m<sup>2</sup> en 23.60 soles en comparación con las losas aligeradas.
- ✓ Tienen mayor momento resistente: 2145.89 Kg-m > 735.18 Kg-m.
- ✓ Tienen mayor resistencia al esfuerzo cortante: 5299.41 Kg > 913.97 Kg.
- ✓ La deflexión total es menor: 1.16 cm < 2.70 cm.

**Palabras Claves:** Losas aligeradas, losas mixtas, láminas de acero, resistencia, deflexiones, economía.

## ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most used in construction structural materials today. However, composite construction shown in recent years a great advantage over reinforced concrete as lightens the weight and cost structures. In composite structures we find the composite slab system, which consists of sheets of steel formwork and are working as positive reinforcement when the concrete sets.

The main objective of this thesis is to analyze and compare the structural and economic behavior of lightened slab and composite slab using AD-600 plates, evaluate the effect of the steel sheet and establish a valid design and modeling procedure. Thus achieving better understand the behavior of lightened and collaborating slabs.

After the studies propose replacing the slabs lightened by collaborating slabs, since the latter have the following advantages:

- ✓ For use in homes, decrease the weight of the lightened slab  $280 \text{ Kg/m}^2$  to  $232.32 \text{ Kg/m}^2$ , thus decreasing the weight of the system in a 17.03%.
- ✓ The collaborating slabs reduce the cost per  $\text{m}^2$  at 23.60 soles compared to lighter slabs.
- ✓ Have greater resistance moment:  $2145.89 \text{ Kg-m} > 735.18 \text{ Kg-m}$ .
- ✓ Have greater shear strength:  $5299.41 \text{ Kg} > 913.97 \text{ Kg}$ .
- ✓ The total deflection is lower:  $1.16 \text{ cm} < 2.70 \text{ cm}$ .

**Keywords:** Lightweight slabs, composite slabs, steel plates, strength, deflection, economy.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |            |
|---|------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                  | <b>II</b>  |
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                      | <b>III</b> |
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>IV</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>V</b>   |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>                              | <b>VI</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                  | <b>IX</b>  |
| <b>LISTA DE TABLAS.....</b>                                   | <b>XI</b>  |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>                          | <b>12</b>  |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>                        | <b>15</b>  |
| 2.1. ANTECEDENTES .....                                       | 15         |
| 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES A NIVEL DE INVESTIGACIÓN  |            |
| 17  |            |
| 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES A NIVEL DE INVESTIGACIÓN ..... | 19         |
| 2.2. MARCO TEÓRICO .....                                      | 20         |
| 2.3.1. CONCRETO.....  | 20         |
| 2.3.2. ACERO.....   | 24         |
| 2.3.3. CONCRETO ARMADO.....                                   | 26         |
| 2.3.4. SISTEMA DE LOSA COLABORANTE .....                      | 49         |
| 2.3.5. CORROSIÓN .....  | 54         |
| 2.3.6. MÉTODOS DE DISEÑO.....                                 | 55         |
| <b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>                        | <b>58</b>  |
| 3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....                                | 58         |
| a) Tipo de Investigación .....                                | 58         |
| b) Nivel de Investigación .....                               | 58         |
| c) Población de Estudio .....                                 | 58         |
| d) Muestra .....  | 58         |
| e) Unidad de Análisis .....                                   | 58         |
| 3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....                        | 58         |
| a) Investigación Bibliográfica .....                          | 59         |
| b) Utilización de Software .....                              | 59         |
| c) Cotizaciones .....   | 59         |
| <b>CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO .....</b>                       | <b>60</b>  |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 4.1.  | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....   | 60        |
| 4.2.  | CONSIDERACIONES DE CARGA .....  | 60        |
| 4.2.1.  | Cargas permanentes, sobrecargas de uso y combinaciones de carga .....         | 60        |
| 4.3.  | LÁMINA COLABORANTE.....   | 62        |
| 4.3.1.  | Elección General de la Lámina.....  | 62        |
| 4.3.2.  | Tipos Perfiles de Lámina Colaborante: .....                                   | 63        |
| 4.3.3.  | Elección del Perfil AD.....   | 63        |
| 4.4.  | MODELO ESTRUCTURAL.....   | 63        |
| a)  | Losa unidireccional.....  | 64        |
| b)  | Geometría de la Sección .....   | 64        |
| c)  | Idealización del Modelo .....   | 64        |
| 4.5.  | ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE LOSA CON MÉTODOS TRADICIONALES .....     | 65        |
| 4.6.  | MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE LOSAS CON SOFTWARE LXVI                       |           |
| 4.6.1.  | Análisis Asistido por Computadora.....  | 66        |
| 4.6.2.  | Descripción de los Modelos .....  | 66        |
| <b>CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LOSAS COLABORANTES.....</b> |   | <b>68</b> |
| 5.1.  | SEGURIDAD EN EL MANEJO DE LAS LÁMINAS DE ACERO .....                          | 68        |
| 5.2.  | SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE LÁMINAS DE ACERO .....                         | 68        |
| 5.3.  | SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE DUCTOS Y ABERTURAS.....                        | 69        |
| 5.4.  | MANEJO Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO.....   | 69        |
| 5.4.1.  | Limpieza del Tablero.....   | 69        |
| 5.4.2.  | Vaciado del Concreto .....  | 70        |
| <b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                      |   | <b>72</b> |
| 6.1.  | CONCLUSIONES .....  | 72        |
| 6.2.  | RECOMENDACIONES.....  | 74        |
| 6.2.1.  | Recomendaciones Generales .....   | 74        |
| 6.2.2.  | Recomendaciones Específicas.....  | 74        |
| <b>CAPÍTULO VII: REFERENCIAS .....</b>  |   | <b>75</b> |
| <b>CAPÍTULO VIII: ANEXOS .....</b>  |   | <b>78</b> |
| 8.1.  | ANEXOS I: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS.....                                     | 78        |
| 8.1.1.  | DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOSA ALIGERADA CON TEORÍAS CONVENCIONALES DE VIGAS ..... | 78        |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 8.1.2. | DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOSA COLABORANTE CON TEORÍAS CONVENCIONALES DE VIGAS.....  | 93  |
| 8.1.3. | ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS MODELOS UTILIZANDO SAP2000:<br>111   |     |
| 8.1.4. | ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOSAS ALIGERADAS Y LOSAS COLABORANTES.....  | 119 |
| 8.1.5. | COMPARACIÓN EN LOS COSTOS POR m <sup>2</sup> DE MATERIALES, MANO DE OBRA E INSUMOS EN LAS LOSAS .....   | 126 |
| 8.2.   | ANEXO II: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....  | 131 |
| 8.2.1. | RESULTADOS DE DEFLEXIONES EN LAS LOSAS MODELADAS EN SAP2000 .....   | 131 |
| 8.2.2. | COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES .....  | 133 |
| 8.2.3. | ESFUERZOS RESISTIDOS POR CADA SISTEMA.....  | 135 |
| 8.2.4. | COMPARACIÓN DE PRECIOS DE AMBOS SISTEMAS.....   | 136 |
| 8.2.5. | COMPARACIÓN DE PESOS DE AMBOS SISTEMAS .....  | 137 |
| 8.3.   | ANEXO III: LISTA DE FIGURAS.....  | 137 |
| 8.4.   | ANEXO IV: LISTA DE TABLAS.....  | 149 |
| 8.5.   | ANEXO V: CERTIFICACIÓN DE ACERO DECK .....  | 163 |
| 8.6.   | ANEXO VI: COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS CON LADRILLO DE TECNOPOR RESPECTO AL PESO Y A LOS COSTOS POR m <sup>2</sup> :..... | 163 |
| 8.6.1. | COMPARACIÓN DE LOS PESOS DE AMBAS LOSAS DE ENTREPISO:.....  | 165 |
| 8.6.2. | COMPARACIÓN DE LOS PRECIOS DE AMBAS LOSAS DE ENTREPISO .....  | 166 |
| 8.7.   | ANEXO VII: EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LOSAS COLABORANTES .....  | 171 |
| 8.8.   | ANEXO VIII: PLANOS DE DETALLE DE CONEXIÓN ENTRE LOSA COLABORANTES Y VIGAS, Y OTROS DETALLES DE CONSTRUCCIÓN...                                      | 173 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2. 1: Curva esfuerzo – deformación unitaria del concreto para diferentes resistencias en compresión (Ortega, 2014).....  | 137 |
| Figura 2. 2: Curva esfuerzo-deformación del acero y módulo de elasticidad del acero (Harmsen, 2005). .....  | 138 |
| Figura 2. 3: Idealización de la curva esfuerzo – deformación para el acero en tracción o compresión (adaptado de Ortega, 2014). .....   | 138 |
| Figura 2. 4: Se muestra la distribución del esfuerzo de compresión en el concreto correspondientes a los perfiles a,b,c t d de deformación (Ortega, 2014). .....  | 138 |
| Figura 2. 5: Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión (Harmsen, 2005). .....  | 139 |
| Figura 2. 6: Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión (Harmsen, 2005). .....   | 139 |
| Figura 2. 7: Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión (Harmsen, 2005).....   | 139 |
| Figura 2. 8: Semejanza de triángulos para hallar $C_b$ (adecuada de Park & Paulay, 1994). .....   | 140 |
| Figura 2. 9: Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección (Park & Paulay, 1994). .....  | 140 |
| Figura 2. 10: Simplificación de una sección sometida a flexión (Blanco, 2011). .....  | 140 |
| Figura 2. 11: Simplificación de las deformaciones de una viga (adecuado de Ortega, 2014). .....   | 141 |
| Figura 2. 12: Viga T de concreto reforzado cuando se alcanza la resistencia a flexión (Park & Paulay, 1994). .....  | 141 |
| Figura 2. 13: Simplificaciones para los cuatro casos que se pueden presentar en vigas de sección T (Blanco, 2011). .....  | 141 |
| Figura 2. 14: Tipos de losas (a) losa maciza, (b) losa aligerada, (c) losa nervada (adaptado de Blanco, 2011). .....  | 142 |
| Figura 2. 15: Losa armada en una dirección (Harmsen, 2005).....   | 143 |
| Figura 2. 16: Características geométricas de una losa aligerada en una dirección (Abanto, 2012). .....  | 143 |
| Figura 2. 17: Estructura de un sistema de losa colaborante (Ascencio, 2006).....  | 143 |
| Figura 2. 18: Acabados de la losa colaborante: (a) Caravista-Centro de Remo, Lima; (b) Pintado-Vivienda en Los Olivos, Lima; (c) Con falso cielo raso, Edificio en el Centro de Lima, Lima. (Acero Deck, 2013.) ..... | 144 |
| <br>  |     |
| Figura 4. 1: Detalle del perfil AD-600 (Acero Deck, 2013).....  | 145 |
| Figura 4. 2: Detalle del perfil AD-730 (Acero Deck, 2013).....  | 145 |
| Figura 4. 3: Detalle del perfil AD-900 (Acero Deck, 2013).....  | 145 |
| Figura 4. 4: Idealización del modelo estructural (Ascencio, 2006). .....  | 145 |
| Figura 4. 5: Placa Colaborante AD-600. ....   | 146 |
| Figura 4. 6: Losa colaborante. ....   | 146 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4. 7: Vigüeta de losa aligerada. ....  | 146 |
| Figura 5. 1: Protección con acero de refuerzo en ductos. ....   | 147 |
| Figura 5. 2: Entablado para la protección de la placa colaborante. ....   | 147 |
| Figura 5. 3: Ejemplo de colocación de tuberías de desagüe por debajo de la losa colaborante. ....   | 148 |
| Figura 5. 4: Limpieza de la placa colaborante durante los trabajos diarios. ....  | 148 |
| Figura 8. 1: Vigüeta de losa aligerada y carga viva (SAP2000). ....   | 111 |
| Figura 8. 2: Momento en la vigüeta de la losa aligerada (SAP2000). ....   | 111 |
| Figura 8. 3: Cortante en la vigüeta de la losa aligerada (SAP2000). ....  | 112 |
| Figura 8. 4: Deflexión al centro de la luz en la vigüeta de la losa aligerada (SAP2000). ....   | 112 |
| Figura 8. 5: Carga incremental vs Deformación (elaboración propia). ....  | 113 |
| Figura 8. 6: Placa AD-600 y losa colaborante (SAP2000). ....  | 114 |
| Figura 8. 7: Diagrama de distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en la lámina, vista superior (SAP2000). ....                       | 114 |
| Figura 8. 8: Diagrama de distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en la lámina, vista inferior (SAP2000). ....                       | 115 |
| Figura 8. 9: Diagrama de esfuerzo cortante en la lámina de acero (SAP2000). ....  | 115 |
| Figura 8. 10: Diagrama distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en el concreto (SAP2000). ....                                       | 116 |
| Figura 8. 11: Diagrama distribución de esfuerzo cortante (en los apoyos, en el centro de la luz y a lo largo de toda la luz) en el concreto (SAP2000). .... | 116 |
| Figura 8. 12: Carga incremental vs deformación (elaboración propia). ....   | 118 |
| Figura 8. 13: Ladrillo hueco en losas (elaboración propia). ....  | 127 |
| Figura 8. 14: Acero positivo en losas (elaboración propia). ....  | 127 |
| Figura 8. 15: Acero negativo en losas (elaboración propia). ....  | 128 |
| Figura 8. 16: Acero de temperatura en losas (elaboración propia). ....  | 128 |
| Figura 8. 17: Concreto en losas. ....   | 129 |
| Figura 8. 18: Peso propio en losas. ....  | 129 |
| Figura 8. 19: Costo de mano de obra. ....   | 130 |
| Figura 8. 20: Costo de mano de obra. ....   | 130 |
| Figura 8. 21: Costo total por m <sup>2</sup> en losas (elaboración propia). ....  | 131 |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 2. 1: Tamaños de varillas corrugadas de acero (Harmsen, 2005).....                                  | 149 |
| Tabla 2. 2: Características resistentes de los aceros de grado 40, 60 y 70 (Harmsen, 2005).....           | 149 |
| Tabla 2. 3: Datos de Acero Estructural (Bowles, 1994).....  | 149 |
| Tabla 2. 4: Cuantías ( $\rho$ ) y valores de Ku para diferentes valores de $f'c$ (Blanco, 2011).<br>..... | 150 |
| Tabla 2. 5: Deflexiones máximas permitidas (Harmsen, 2005). ....  | 155 |
| Tabla 2. 6: Tipos de ladrillos que se encuentran en el mercado peruano (Harmsen, 2005).....               | 156 |
| Tabla 2. 7: Peso de losas aligeradas por unidad de área (NTE-E.020).....                                  | 156 |
| Tabla 2. 8: Dimensiones de Diferentes Conectores de Corte Nelson Stud (Manual de Diseño Acero Deck). .... | 157 |
| Tabla 2. 9: Dimensiones de Topes de Borde (Manual de Diseño Acero Deck, 2013). ....                       | 157 |
| Tabla 2. 10: Dimensiones de Topes de Cierre (Manual de Diseño Acero Deck, 2013).<br>.....                 | 158 |
| <br>  |     |
| Tabla 4. 1: Pesos específicos de materiales (NTE-E.020).....  | 158 |
| Tabla 4. 2: Pesos unitarios de materiales (NTE-E.020). ....   | 158 |
| Tabla 4. 3: Combinaciones básicas de carga (NTE-E.060).....   | 159 |
| Tabla 4. 4: Características del Perfil AD-600 (Manual Acero Deck, 2013). ....                             | 159 |
| Tabla 4. 5: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-600 (Manual Acero Deck, 2013).<br>.....               | 159 |
| Tabla 4. 6: Sobrecargas admisibles ( $Kg/m^2$ ) para placas AD-600 (Manual Acero Deck, 2013).....         | 160 |
| Tabla 4. 7: Características del Perfil AD-730 (Manual Acero Deck, 2013). ....                             | 160 |
| Tabla 4. 8: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-730 (Manual Acero Deck, 2013).<br>.....               | 161 |
| Tabla 4. 9: Sobrecargas admisibles ( $Kg/m^2$ ) para placas AD-730 (Manual Acero Deck, 2013).....         | 161 |
| Tabla 4. 10: Características del Perfil AD-900 (Manual Acero Deck, 2013). ....                            | 162 |
| Tabla 4. 11: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-900 (Manual Acero Deck, 2013).....                   | 162 |
| Tabla 4. 12: Sobrecargas admisibles ( $Kg/m^2$ ) para placas AD-900 AD-900 (Manual Acero Deck, 2013)..... | 162 |
| <br>  |     |
| Tabla 8. 1: Deflexiones de la Vigueta por Variaciones de Carga Viva – Teoría de Vigas.<br>.....           | 92  |
| Tabla 8. 2: Deflexiones de la Losa Colaborante por Variaciones de Carga-Teoría de Vigas.....              | 110 |
| Tabla 8. 3: Deflexiones de la Vigueta por Variaciones de Carga (SAP2000). ....                            | 112 |
| Tabla 8. 4: Desplazamientos en el Centro de la Losa Colaborante (SAP2000). ....                           | 117 |
| Tabla 8. 5: Deflexiones en la Losa Colaborante por Variaciones de Carga (SAP2000).<br>.....               | 118 |

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento anual de la población peruana es de alrededor del 1.3% al 2013 ([www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)), lo que origina un incremento en la demanda de viviendas para las nuevas familias que se van formando cada año, y si miramos desde el pasado hasta llegar a nuestros días, veremos que el estado actual de nuestra sociedad es el resultado de constantes innovaciones tecnológicas y administrativas, la gran mayoría de ellas tendientes a optimizar recursos, denotándose cambios radicales en cómo se diseñan y construyen las diferentes estructuras.

Por ello, existe la necesidad de contar con sistemas constructivos más eficientes y económicos, lo que requiere de nuevos conceptos en el diseño y la construcción, ya que se puede denotar las limitaciones técnicas y constructivas de los sistemas convencionales que se han mantenido hasta la actualidad y que forman parte de la cultura del sector de construcción.

Lo más usual en la construcción de viviendas y edificios para la transferencia de cargas son las losas de entrepiso, siendo las losas aligeradas uno de los elementos más utilizados. Sin embargo, en la actualidad se ha empezado a utilizar sistemas mixtos, formados por acero estructural y concreto, como es el caso de las losas colaborantes, que presentan ventajas asociadas, como la eliminación de las faenas de encofrado y desencofrado, colocación de acero de refuerzo en obra y el mejor aprovechamiento de los materiales constituyentes del conjunto estructural.

Por ello, la presente tesis encuentra justificación en lo interesante que resulta comparar la solución clásica en nuestro medio, de concreto armado, con otras soluciones como las construcciones mixtas, y principalmente en el empleo justo y no sobredimensionado de losas colaborantes. Esto considerando que las cargas permanentes y sobrecargas de uso que soportan las losas aligeradas, que son las más comunes en nuestro medio, también pueden ser soportadas por las losas colaborantes de manera satisfactoria, y también teniendo en cuenta la parte económica, ya que debido al crecimiento de la industria del acero, su amplia gama de productos, la eficiencia del perfil de acero estructural como

acero de refuerzo, como encofrado y por el valor comercial menor que tiene, comparado con el acero corrugado, ladrillo y encofrado que se utiliza en las losas aligeradas.

Los alcances de esta investigación se basan en el estudio del comportamiento estructural de una losa colaborante y una losa aligerada. En lo concerniente a la losa colaborante, se tendrá en cuenta que ésta se diseñará como un elemento de concreto armado, en la que, el refuerzo como acero positivo será dado por la placa de acero. Para la determinación de costos se hará metrados y cotizaciones de los materiales necesarios a utilizar para la construcción de cada tipo de losa. Finalmente, se realizará una comparación del comportamiento estructural y económico de ambos sistemas, y de esta manera se podrá establecer con fundamentos un criterio de utilización y diseño de losas colaborantes. Este trabajo beneficiará al departamento de Cajamarca, donde se proyectan obras estructurales de pequeña y mediana envergadura como: viviendas, edificios de poca altura, centros comerciales. Servirá también como una fuente bibliográfica para otros trabajos de naturaleza similar que se realicen en el futuro.

La interrogante principal dentro de la investigación es: ¿qué tan eficientes estructuralmente y económicamente son las losas colaborantes en comparación con las losas aligeradas para la construcción de viviendas?, de donde la hipótesis que se desprende es: las losas colaborantes unidireccionales con placas AD-600 tienen un mejor comportamiento estructural y son más económicas que las losas aligeradas unidireccionales. Siendo las variables independientes losa colaborante con placa AD-600 y losa aligerada; y las variables dependientes, el comportamiento estructural y el comportamiento económico.

El objetivo principal es comparar el comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas unidireccionales. Para lo cual se va a modelar, diseñar y analizar a las losas colaborantes y a las losas aligeradas, también se realizará metrados y cotizaciones para determinar los costos de construcción de ambos sistemas de entrepiso.

Esta tesis está organizada en 8 Capítulos distribuidos de la siguiente forma:

En el Capítulo 1, “Introducción”, se plantea el problema del crecimiento poblacional y de los nuevos sistemas constructivos de losas de entrepiso en el Perú. Se explica la justificación de esta investigación, los alcances del trabajo. Además, se muestra la hipótesis propuesta y los objetivos que se esperan cumplir.

En el Capítulo 2, “Marco teórico”, se presenta la relación que existe entre el problema particular de estudio y las teorías e investigaciones similares realizadas anteriormente.

En el Capítulo 3, “Metodología”, se presenta la metodología seguida en el desarrollo de la investigación.

En el Capítulo 4, “Procedimiento”, se describe el procedimiento, las normas y especificaciones técnicas utilizadas en los cálculos realizados.

En el Capítulo 5, “Recomendaciones constructivas”, se describen algunas recomendaciones a tener en cuenta en la construcción de losas colaborantes.

En el Capítulo 6, “Conclusiones y recomendaciones”, se escriben las conclusiones del trabajo y además, se muestran las recomendaciones para futuras investigaciones sobre nuevos sistemas de construcción como el de losas colaborantes.

En el Capítulo 7, “Referencias”, se escriben las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo de la presente investigación.

En el capítulo 8, “Anexos”, en este capítulo se muestran los cálculos realizados, discusión de resultados, gráficas, tablas, planos y algunos ejemplos de la utilización de losas colaborantes.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

El primer edificio construido con concreto armado es la fábrica de harinas La Ceres en Bilbao, de 1899-1900 (aún hoy en pie y rehabilitada como viviendas). Joseph Monier, francés, es considerado el creador del concreto reforzado. Fabricó macetas de concreto con refuerzo de mallas de alambre, registrando el sistema en 1867, en los años siguientes patentó esta técnica para la construcción de tanques, puentes, tuberías, vigas, columnas y escaleras.

En Estados Unidos, Thaddeus Hyatt, abogado e ingeniero, realizó experimentos en vigas de concreto reforzado alrededor de 1850. Sus resultados no se publicaron sino hasta 1877. Investigó acerca de la resistencia del concreto al fuego y llegó a la conclusión que los coeficientes de dilatación térmica, tanto del concreto como del acero eran muy similares. Con sus estudios Hyatt sentó los principios sobre los cuales se desarrolla el análisis y diseño de los elementos de concreto reforzado.

Luego en 1906 aparecen las primeras teorías formales acerca del concreto armado, precisamente en Francia a cargo de Charles Rabut. Sin embargo la necesidad de utilizar nuevos sistemas constructivos, que sean más eficientes ha llevado a que se empleen nuevos métodos y materiales para el análisis, diseño y construcción de las estructuras que utilizamos diariamente.

Si tomamos el caso de elementos estructurales como las losas, en ellas algunas mejoras son por ejemplo: en el caso de losas aligeradas con ladrillos arcilla, estos fueron reemplazados con ladrillos de poliestireno para disminuir el peso de la losa, losas con viguetas prefabricadas, losas con perfiles de acero, losas con casetones de poliestireno (se utilizan para construir losas tipo wafer).

Es así que aparecen las losas colaborantes, este tipo de losa nace en 1950 en Estados Unidos. Los estadounidenses realizan la primera patente de este tipo de forjado, la conexión entre ambos materiales se realizaba por medio de unas pletinas de acero

dispuestas transversalmente y soldadas en la cresta de la placa colaborante; posteriormente se sustituyen éstas por una malla soldada también en la parte superior de la chapa. Investigaciones posteriores desarrollaron nuevas formas para garantizar la perfecta conexión entre ambos materiales, introduciendo embuticiones o dentaciones en las caras laterales.

Reconociendo entonces la necesidad de crear especificaciones estándares para el diseño, la AISI inició un proyecto de investigación en la Iowa State University bajo la dirección del Doctor Ekberg para desarrollar las bases para el diseño de los sistemas de pisos mixtos de láminas de acero y concreto. Estos estudios se realizaron desde 1967 hasta 1970 y el particular énfasis fue el de desarrollar una ecuación válida para conocer la resistencia última de diseño.

En esta investigación se concretó que en la mayoría de los casos las muestras fallaban cuando se producía una ruptura entre la conexión de ambos materiales y muy pocos fallaban por su resistencia a flexión. Igualmente comprobaron que la última capacidad de carga varía con cada perfil de acero según sus corrugaciones, la luz de la losa, los conectores de corte y el porcentaje de acero. Con estos estudios al mismo tiempo se determinó el modo de calcular la resistencia última para fallas por flexión, tanto para losas sub-reforzadas como sobre-reforzadas.

En 1971 Porter y Ekberg presentaron un estudio como continuación de los realizados en Iowa State University. Este se basó en el comportamiento de las losas mixtas cargadas en una y dos direcciones.

En Europa la introducción de las losas colaborantes se sitúa a finales de la década de los sesenta. Las investigaciones para solucionar el problema principal de las losas colaborantes, el esfuerzo rasante (esfuerzo cortante por unidad de longitud), siguieron desarrollándose y alrededor de la mitad de los ochenta la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) publica "Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs" (Especificaciones para el diseño y construcción de losas compuestas), a su vez se publica la Norma Británica BS-5950-82.



### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES A NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

En Venezuela se tiene la tesis de pregrado realizada por Estebeni Bilbao Torres, donde se estudia el comportamiento de losas de concreto y acero, llegando a afirmar lo siguiente (Bilbao, 2004, pág. 29):

- 1) Se ha apreciado que a pesar de la versatilidad y economía que representan las losas mixtas de acero y concreto, en su diseño es indispensable considerar la etapa constructiva.
- 2) Al utilizar láminas acanaladas con mayor peralte, el momento de inercia aumenta, y las facilidades en la construcción también lo hacen, ya que las separaciones entre apoyos son mayores. Asimismo, las láminas de mayor altura representan una menor cantidad de concreto utilizado.
- 3) En la etapa de montaje de las láminas, la condición de esfuerzos admisibles son los más críticos.
- 4) Es necesario el uso adecuado de conectores de corte en la superficie de la lámina.
- 5) Los edificios de acero por lo general son construidos más rápidamente que los de concreto, especialmente cuando se utiliza este tipo de sistema de piso.
- 6) Las láminas de acero pueden ser instaladas una vez que se instalen los miembros estructurales principales.

En Uruguay Patricia Garino desarrolló una investigación para la Universidad de la República, donde habla acerca de soluciones estructurales no habituales, y trata el tema de losas colaborantes llegando a las siguientes conclusiones (Garino, 2010, pág. 8):

- 1) La mayor cualidad estructural del sistema reside en la utilización de los materiales, acero y hormigón, aprovechando al máximo sus propiedades mecánicas.
- 2) Los perfiles de acero utilizados en láminas colaborantes permiten reducir los espesores de las losas debido a los esfuerzos que pueden soportar.

- 3) La utilización de láminas colaborantes como encofrado y estructura propia durante el llenado permite reducir los plazos de ejecución y ahorrar costos de encofrado.
- 4) Se tiene que realizar la incorporación de una adecuada protección contra el fuego, previsión de barreras acústicas, elaboración de controles de calidad de la estructura tanto a nivel de fabricación como en obra, como por ejemplo durante el llenado y curado del hormigón.

En Chile Juan Claudio Ascencio Arangua realizó una tesis de pregrado para la Universidad Austral de Chile, donde habla acerca del diseño de losas colaborantes unidireccionales utilizando dos placas colaborantes diferentes, llegando a las siguientes conclusiones (Ascencio, 2006, pág. 101):

- 1) Las aplicaciones en las cuales puede ser usadas apuntan a un diseño de baja sobrecarga, donde una losa aligerada convencional o una losa maciza son sobre dimensionadas.
- 2) El análisis lineal elástico entrega una idea clara del comportamiento estructural de estos sistemas de losas compuestas.
- 3) Las deformaciones presentadas son producto de la variación del momento de inercia que no solo depende del comportamiento en el agrietamiento de la sección de hormigón, sino que también del porcentaje de colaboración que se proporcione mediante los conectores de cortante.
- 4) La clave de la resistencia del sistema está en procurar la conexión adecuada entre el concreto y el acero, ya que los esfuerzos de corte que se producen en la interfase son de considerable magnitud y deben ser resistidos para conferir a la losa de capacidades flexurales resistentes.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES A NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

En Perú, Maritza Ramos Rugel realizó un trabajo para la Universidad de Piura, donde desarrolla un análisis técnico y económico de losas de entrepiso, donde habla acerca de las losas colaborantes, llegando a las siguientes conclusiones (Ramos, 2002, pág. 14):

- 1) Las aplicaciones en las cuales puede ser usadas apuntan a un diseño de baja sobrecarga, donde una losa colaborante convencional o incluso la implementación de una losa maciza de concreto es de carácter sobre dimensionado. El sistema de lámina colaborante permite un mayor rendimiento en la construcción de las losas de entrepiso, este sistema es ideal cuando se maneja una gran área para techar.
- 2) El sistema de las losas reforzadas con láminas colaborantes evita el uso de los recursos en la tarea de encofrado y desencofrado, y en los trabajos posteriores del cielorraso.
- 3) El sistema minimiza el desperdicio de material. En general, requiere menor volumen de concreto que otros sistemas. Por otro lado, permite reducir el peso de la edificación lo que se traduce en ahorro de material en el resto de la estructura y a nivel de cimentación.
- 4) El sistema presenta una apariencia atractiva y puede dejarse a la vista en cierto tipo de proyectos.
- 5) Se utilizan las propiedades del acero con una alta eficiencia en el diseño y la fabricación, obteniéndose una losa con una alta relación de resistencia a peso.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.3.1. CONCRETO**

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción (Pasquel, 1993, pág. 11; Harmsen, 2005, pág. 11).

#### **2.3.1.1. Requisitos que debe cumplir el concreto**

Debe tener la resistencia deseada diseñada y especificada; también tiene que ser uniforme, impermeable, resistente al clima, al uso, agentes destructivos, además que no se agriete excesivamente al enfriamiento o al secado, debe ser de menos costo que otros materiales igualmente resistentes y durables (Ortega, 2014, pág. 14).

## 2.3.1.2. Resistencia del Concreto

### 2.3.1.2.1. Resistencia del Concreto ante Solicitaciones Uniaxiales

#### a) Resistencia del Concreto a la Compresión

Este parámetro es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm) de diámetro y de 12" (30 cm) de altura. La resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días (Harmsen, 2005, pág. 22).

En ocasiones un periodo de 28 días para determinar la resistencia del concreto puede resultar muy largo, por lo que se suele efectuar ensayos a los 7 días cuya resistencia es aproximadamente (Harmsen, 2005, pág. 23).

$$f'_{c7} \approx 0.70f'_{c28}$$

Algunos de los factores que afectan la resistencia a la compresión del concreto son (Harmsen, 2005, pág. 24-25):

1. Relación a/c: Esta relación no debe ser menor que 0.25 pues ésta es la cantidad mínima de agua necesaria para la completa hidratación del cemento.
2. Tipo de cemento: De acuerdo al tipo de cemento, el desarrollo de la resistencia a la compresión varía con el tiempo.
3. Tipo de agregado: El agregado grueso es el que le da resistencia a la mezcla, en concretos de alta resistencia juega un papel muy importante.
4. Duración del curado: La duración del curado influye en la resistencia del concreto.

#### b) Resistencia del Concreto a la Tracción

La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a un 15% de ésta. Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las

dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga (Harmsen, 2005, pág. 25).

La norma NTE-E.060 sugiere para este parámetro el siguiente valor:

$$f_{ct} = 2\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (1)$$

### **c) Resistencia del Concreto al Esfuerzo Cortante**

El esfuerzo cortante es una sollicitación que se presenta individualmente en casos muy excepcionales. En el laboratorio, se han obtenido resistencias que varían de  $0.2f'_c$  a  $0.85f'_c$ ; este rango tan amplio es explicable dada la dificultad que se tiene para aislar esta sollicitación de otras en los ensayos utilizados para su determinación (Harmsen, 2005, pág. 27).

## **2.3.1.3. Propiedades Mecánicas del Concreto**

### **2.3.1.3.1. Relación Esfuerzo – Deformación del Concreto a Compresión**

En la figura 2.1 (ver anexos) se muestran curvas esfuerzo – deformación para concretos normales de diversas resistencias a la compresión. La deformación correspondiente al esfuerzo máximo es mayor para los concretos más resistentes. Sin embargo, para los de menor resistencia, es casi constante e igual a 0.002. La rama descendente de las gráficas tiene una longitud y pendiente que varía de acuerdo al tipo de concreto. Para concretos de resistencias bajas tiende a tener menor pendiente y mayor longitud que para concretos de resistencias mayores (Harmsen, 2005, pág. 30-31).

### **2.3.1.3.2. Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad de un material es función del ángulo de la línea esfuerzo – deformación y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material. El concreto presenta un comportamiento elastoplástico y por ello los esfuerzos no son directamente proporcionales a la deformación (Harmsen, 2005, pág. 32).

La norma NTE-E.060-8.5 brinda las siguientes ecuaciones para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto:

- Para concreto de peso unitario “w” comprendido entre 1450 y 2500 Kg/m<sup>3</sup> se puede definir el módulo de elasticidad del concreto como:

$$E_c = 0.136w^{1.5}\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Ec: Módulo de elasticidad del concreto.

f'c: Resistencia a la compresión del concreto.

- Para concretos normales, con pesos unitarios de aproximadamente 2300 Kg/m<sup>3</sup> se utiliza la siguiente expresión:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3)$$

### 2.3.1.3.3. Módulo de Poisson

El valor de este parámetro para el concreto varía entre 0.15 y 0.20; este valor se obtiene de dividir la deformación transversal entre la deformación longitudinal (Ortega, 2014, pág. 20).

$$\mu_c = \frac{\Delta t}{\Delta l} \dots\dots\dots (4)$$

### 2.3.1.3.4. Módulo de Corte

Harmsen (2005, pag. 33) dice que:

Por resistencia de materiales se sabe que:

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \mu)} \dots\dots\dots (5)$$

Considerando un valor del módulo de Poisson igual a 0.15 se tiene:

$$G_c = 0.43E_c \dots\dots\dots (6)$$

Algunos autores por comodidad desprecian el valor de  $\mu$  y se toma:

$$G_c = 0.5E_c \dots\dots\dots (7)$$

Según la norma E.060-8.5.4 el módulo de rigidez al esfuerzo cortante del concreto se puede suponer igual a:

$$G_c = \frac{E_c}{2.3} \dots \dots \dots (8)$$

**2.3.1.3.5. Coeficiente de Dilatación Térmica**

Se considera para el concreto un valor de:  $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Esto es una gran ventaja, ya que ambos tienen a dilatarse y contraerse de modo similar (Harmsen, 2005, pág. 37).

**2.3.2. ACERO**

**2.3.2.1. Acero de Refuerzo**

Anteriormente se mencionó algunas características del concreto entre ellas su limitada resistencia a la tracción. En el caso del concreto armado, el acero es el encargado de salvar dicha limitación, tiene una resistencia a compresión del orden de 10 veces más que el concreto y a tracción la relación es de 100 veces más. El costo del acero es mucho mayor que el concreto, por lo tanto la combinación de ambos es un balance adecuado para fabricar elementos resistentes y económicos.

El refuerzo del concreto se presenta en tres formas: varillas corrugadas, alambre y mallas electrosoldadas (Harmsen, 2005, pág. 39; Ortega, 2014, pág. 31).

**2.3.2.2. Propiedades Mecánicas del Acero**

**a) Relación Esfuerzo-Deformación del Acero**

En la figura 2.2 (ver anexos) se puede apreciar la curva esfuerzo-deformación para el acero. Se asume que el acero tiene un comportamiento elastoplástico para pequeñas deformaciones. El módulo de elasticidad es definido como la tangente del ángulo  $\alpha$ . Por lo tanto, este parámetro es independiente del grado del acero y se considera igual a (Harmsen, 2005, pág. 42-43):

$$E_s = 2\,100\,000 \text{ Kg/cm}^2.$$

#### **b) Módulo de cortante (G)**

El módulo de cortante de cualquier material elástico se calcula como:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

$\mu$  = coeficiente de Poisson que se toma como 0.3 para el acero.

Usando  $\mu = 0.3$  se obtiene un valor de  $G = 7.7 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **c) Punto de Fluencia y Resistencia Última**

En la tabla 2.3 (ver anexos) se dan los puntos de fluencia de los varios grados de acero que interesan al ingeniero estructural, y que se producen en las fábricas de acero. De la tabla que se muestra en los anexos, el acero más utilizado es el acero al carbono (A-36) que tiene un punto de fluencia igual a  $2500 \text{ Kg/cm}^2$ .

#### **d) Densidad**

La densidad del acero es  $7850 \text{ Kg/m}^3$  ó  $490 \text{ lb/pie}^3$ .

#### **e) Coeficiente de Dilatación Térmica**

Su valor es muy similar al del concreto:  $11 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ . Esto es una gran ventaja, pues no se presentan tensiones internas entre el refuerzo y el concreto por los cambios de temperatura del medio (Harmsen, 2005, pág. 43).

#### **f) Oxidación del Acero**

El acero debe estar libre de óxido durante su colocación. El óxido reduce la sección transversal de las varillas afectando directamente su capacidad resistente, si el refuerzo se oxida dentro del concreto, aumentará el volumen y el recubrimiento se desprenderá. Con el ingreso del oxígeno la reacción se llevará a cabo más rápidamente y la armadura terminara por corroerse totalmente (Harmsen, 2005, pág. 44).

#### **2.3.2.2.1. Ventajas del Acero Estructural**

Las principales ventajas que ofrece el acero como material estructural tenemos (Villavicencio, 2011, pág. 31-32):



**a) Alta Resistencia**

El acero ofrece una alta resistencia por unidad de peso comparado con otros materiales como: el hormigón, la madera, la mampostería, etc. Por esto se pueden proyectar estructuras más ligeras, lo cual resulta conveniente en edificios altos y puentes de grandes luces donde la carga muerta es muy importante dentro de la carga de diseño.

**b) Uniformidad**

Las propiedades físicas del acero no presentaran grandes cambios dentro del elemento.

**c) Gran Ductilidad**

La capacidad del acero estructural de deformarse sin llegar a romperse cuando se encuentra sometido a grandes esfuerzos. Una estructura dúctil antes de colapsar presentará grandes deformaciones advirtiendole que se encuentra próxima al colapso.

**d) Tenacidad**

La tenacidad es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, los aceros estructurales tienen por lo general gran tenacidad.

**e) Rapidez de Montaje**

Las estructuras para edificios de acero se levantan más rápidamente que otras alternativas, lo cual reduce los costos de construcción y permite que las estructuras generen beneficios más rápidamente.

**f) Flexibilidad en el diseño**

Los miembros de acero pueden encontrarse en una gran variedad de formas, tamaños, y grados; además de la gran variedad de dispositivos simples de conexión como tornillos, sujetadores y soldadura. Esta característica del acero es muy importante al momento de realizar un diseño ya que presenta soluciones a casi todas las necesidades en la proyección de elementos.

#### **2.3.2.2.2. Desventajas del Acero Estructural**

A pesar de todas sus ventajas el acero presenta problemas como la corrosión por el agua y otros productos químicos, problemas en elevadas temperaturas y en presencia del fuego por lo cual estas estructuras deben tener protección contra el fuego. Se pueden considerar principalmente las siguientes desventajas del acero como material estructural (Villavicencio, 2011, pág. 31-32):

##### **a) Costo de Mantenimiento**

Los aceros al estar expuestos a la intemperie y a la humedad presentan problemas por corrosión.

##### **b) Costo de Protección Contra el Fuego**

El acero es un excelente conductor del calor, se ha visto que la conducción del calor por los miembros estructurales de acero ha servido para propagar el incendio hacia otras partes del edificio. Por esta razón es necesario brindar una protección contra el fuego a los elementos estructurales de acero.

##### **c) Susceptibilidad al Pandeo**

Mientras más largos y esbeltos sean los miembros a compresión el riesgo de pandeo será mayor.

##### **d) Fatiga**

Se produce la falla del acero estructural por la repetición de ciclos de carga.

##### **e) Fractura Frágil**

La falla frágil es influida por parámetros como baja temperatura, nivel de esfuerzo de tensión y restricción de la unión en la región que rodea al punto de inicio de la falla.

### **2.3.3. CONCRETO ARMADO**

#### **2.3.3.1. Ventajas del Concreto Armado**

Según Harmsen (2005, pág. 2-3) las ventajas del concreto armado son:

- 1) Es durable a lo largo del tiempo y no requiere de una gran inversión para su mantenimiento.
- 2) Tiene gran resistencia a la compresión en comparación con otros materiales.
- 3) Es resistente al efecto del agua.
- 4) En fuegos de intensidad media, el concreto armado sufre daños superficiales si se provee un adecuado recubrimiento al acero.
- 5) Se puede dar la forma que uno desee haciendo uso del encofrado adecuado.
- 6) Le confiere un carácter monolítico a sus estructuras lo que les permite resistir más eficientemente las cargas laterales de viento o sismo.
- 7) No requiere de mano de obra muy calificada.
- 8) Su gran rigidez y masa evitan problemas de vibraciones en las estructuras erigidas con él.
- 9) En la mayoría de lugares, es el material más económico.
- 10) Por su gran peso propio, la influencia de las variaciones de cargas móviles es menor.

#### **2.3.3.2. Desventajas del Concreto Armado**

Según Harmsen (2005, pág. 3) las desventajas del concreto armado son:

- 1) Tiene poca resistencia a la tracción. Aunque el acero se coloca de modo que absorba estos esfuerzos, la formación de grietas es inevitable.
- 2) Requiere de encofrado lo cual implica su habilitación, vaciado, espera hasta que el concreto alcance la resistencia requerida y desencofrado, con el tiempo que estas operaciones implica. El costo del encofrado puede alcanzar entre un tercio y dos tercios del costo total de la obra.
- 3) Su relación resistencia a la compresión versus peso está muy por debajo que la correspondiente al acero, el cual es más eficiente cuando se trata de cubrir grandes luces. El concreto requiere mayores secciones y por ende el peso propio es una carga muy importante en el diseño.
- 4) Requiere de un permanente control de calidad, pues ésta se ve afectada por las operaciones de mezcla, colocación, curado, etc.
- 5) Presenta deformaciones variables con el tiempo. Bajo cargas sostenidas las deflexiones en los elementos se incrementan con el tiempo.

### **2.3.3.3. Flexión Pura**

Los elementos sometidos a flexión son las vigas, los techos o pisos (losas macizas, nervadas y/o aligerados en una o dos direcciones), las escaleras y en general todos aquellos que están sometidos a cargas perpendiculares a su plano, las cuales ocasionan esfuerzos de flexión y cortante. Como el estudio del comportamiento por flexión y corte se puede separar, se trata todo lo relativo al diseño de elementos sometidos a flexión independiente del diseño por corte (Harmsen, 2005, pág. 79; Blanco, 2011, pág. 137).

#### **2.3.3.3.1. Hipótesis Básicas**

Para el diseño por flexión se consideran las siguientes hipótesis fundamentales (Blanco A., 2011, pág. 137-138; Ortega J., 2014, pág. 47-49):

- a) Las secciones planas antes de la flexión permanecen planas después de la flexión (principio de Bernoulli-Navier). Esta suposición es aceptablemente correcta hasta alcanzar la falla a flexión, siempre que exista buena adherencia entre el concreto y el acero.
- b) Se desprecia la resistencia a tracción del concreto.
- c) La curva esfuerzo - deformación para el acero, se supone que tiene una trayectoria bilineal. No es conveniente confiar en el aumento de resistencia del acero debido al endurecimiento por deformación, ya que implicaría deformaciones muy grandes de los elementos (ver figura 2.3 de anexos).
- d) Se conoce la curva esfuerzo-deformación para el concreto. Esta curva define la magnitud y distribución del esfuerzo a compresión. Es decir, los esfuerzos varían linealmente con respecto a su distancia al eje neutro (ver figura 2.4 de anexos).
- e) En la figura 2.5 (ver anexos) se aprecia la simplificación del bloque de compresiones de concreto por una forma equivalente denominada el rectángulo de Whitney.
- f) Se asume que el concreto falla cuando la deformación del concreto en compresión alcanza un valor de  $\epsilon_{cu}=0.003$ .

#### **2.3.3.4. Tipos de Falla de los Elementos Sometidos a Flexión**

La naturaleza de la falla es determinada por la cuantía de refuerzo y es de tres tipos (Harmsen, 2005, pág. 83-84):

##### **a) Falla por Tensión**

El acero fluye y el elemento exhibe una falla dúctil. Se aprecian grandes deflexiones y rajaduras antes del colapso lo cual alerta a los usuarios acerca del peligro inminente. Estas secciones son llamadas también sub-reforzadas.

##### **b) Falla por Compresión**

El acero no tiene oportunidad de fluir y el concreto falla repentinamente; sin embargo este tipo de falla no es dúctil y el tipo de colapso no es conveniente. Estas secciones son llamadas sobre-reforzadas.

##### **c) Falla Balanceada**

Se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última de 0.003 simultáneamente al inicio de la fluencia del acero. Para cada sección existe una cuantía única de acero que ocasiona una falla balanceada la que se denomina cuantía balanceada ( $\rho_b$ ). Por seguridad, se recomienda que todas las secciones se diseñen para fallar por tracción y por ello limita la cuantía del refuerzo a  $0.75 \rho_b$  (ver figura 2.6).

#### **2.3.3.5. Elementos de Sección Rectangular con Refuerzo en Tracción Sometidos a Flexión**

Las vigas y losas son elementos estructurales que transmiten cargas externas transversales que provocan momentos flexionantes y fuerzas cortantes en su longitud (Harmsen, 2005, pág. 85).

##### **a) Análisis de Secciones Simplemente Reforzadas**

Para la determinación del momento resistente de una sección rectangular es preciso verificar, inicialmente, si el refuerzo alcanza o no el esfuerzo de fluencia. Partiendo de la distribución de esfuerzos mostrada en la figura 2.7 (ver anexos), se establece la condición de equilibrio:

$$C=T \dots\dots\dots (10)$$

$$0.85f'_{cb}ba=A_s f_y \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

b: Ancho de la sección de concreto.

a: Altura del bloque rectangular de esfuerzos de compresión en el concreto.

As: Área del refuerzo en tensión de la sección.

A continuación se estudian los tipos de falla posible a flexión: tensión, compresión y balanceada (Harmsen, 2005, pág. 85).

**a.1. Análisis por Falla a Tensión**

Este tipo de falla se da si el acero alcanza la resistencia máxima (R. Park & T. Paulay, 1994, pág. 67-68).

Para una falla en tensión,  $f_s = f_y$  en que  $f_y$  es la resistencia de cedencia del acero; por equilibrio,  $C = T$ . Consecuentemente de las ecs. (10) y (11) obtenemos:

$$0.85f'_{cb}ba = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85f'_{cb}} \dots\dots\dots (12)$$

Por lo tanto, el momento nominal resistente de la sección estará dado por:

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - 0.59 \frac{A_s f_y}{f'_{cb}} \right)$$

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left( 1 - 0.59 \frac{\rho f_y}{f'_c} \right)$$

$$M_n = b d^2 f'_c w (1 - 0.59w) \dots\dots\dots (13)$$

En que se define a la cuantía ( $\rho$ ) y al índice de refuerzo ( $w$ ):

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \dots \dots \dots (14)$$

$$w = \frac{\rho f'_c}{f_y} \dots \dots \dots (15)$$

**a.2. Análisis por Falla a Compresión**

Este tipo de falla se presenta si el contenido de acero es grande, el concreto puede alcanzar su capacidad máxima antes de que ceda el acero. Para una falla a compresión,  $f_s < f_y$ , ya que el acero permanece dentro del rango elástico. Se puede determinar el esfuerzo del acero en términos de la profundidad del eje neutro (R. Park & T. Paulay, 1994, pág. 68-69).

$$\frac{\epsilon_s}{0.003} = \frac{d - c}{c} \dots \dots \dots (16)$$

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} \dots \dots \dots (17)$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{d - c}{c} E_s \dots \dots \dots (18)$$

O, ya que  $a = \beta_1 c$ , se tiene:

$$f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \dots \dots \dots (19)$$

Por equilibrio,  $C=T$ , y por tanto de las ecuaciones (10), (11) y (19) se tiene:

$$0.85 f'_c ab = A_s f_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s A_s \dots \dots \dots (20)$$

$$\left( \frac{0.85 f'_c}{0.003 E_s \rho} \right) a^2 + ad - \beta_1 d^2 = 0 \dots \dots \dots (21)$$

Despejando “a”, obtenemos:

$$M_n = 0.85 f'_c ab \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (22)$$

**a.3. Análisis por Falla Balanceada**

En la falla balanceada, para una cuantía específica de acero, éste alcanza la resistencia de cedencia  $f_y$  y simultáneamente el concreto alcanza la

deformación a compresión de la fibra extrema de 0.003 (ver figura 2.8 de anexos, (R. Park & T. Paulay, 1994, pág. 69)

Entonces  $\epsilon_s = f_y / E_s$ , y de los triángulos semejantes del diagrama de la figura N° 2.9 se puede escribir:

$$\frac{f_y / E_s}{0.003} = \frac{d - c_b}{c_b} \dots \dots \dots (23)$$

En que  $c_b$  es igual a la profundidad del eje neutro para una falla balanceada, entonces:

$$c_b = \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} d \dots \dots \dots (24)$$

Ó

$$a_b = \frac{0.003 E_s}{E_s + f_y} \beta_1 d \dots \dots \dots (25)$$

Donde  $a_b$  es el peralte del bloque de esfuerzos rectangulares equivalente (bloque de compresiones) para una falla balanceada.

Por equilibrio,  $C=T$ ; en consecuencia se tiene:

$$0.85 f'_c a_b b = A_s f_y = \rho_b b d f_y, \text{ en que:}$$

$$\rho_b = \frac{A_s}{b d} \dots \dots \dots (26)$$

Para una falla balanceada:

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c a_b}{f_y d} \dots \dots \dots (27)$$

Substituyendo la ec. (25) en la ec. (27) se obtiene:

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \times \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \dots \dots \dots (28)$$

Pero  $E_s = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$



$$\rho_b = \frac{0.85f'_c\beta_1}{f_y} x \frac{6000}{6000+f_y} \dots \dots \dots (29)$$

En el caso general cuando  $\rho$  para la sección es distinta de  $\rho_b$ , el tipo de falla que ocurre depende de si  $\rho$  es menor o mayor que  $\rho_b$ . En la figura 2.9 (ver anexos) se muestra las diferentes deformaciones a flexión que se presentan en una sección, de donde se puede deducir (R. Park & T. Paulay, 1994, pág. 70):

**b) Diseño de Secciones Simplemente Reforzadas**

Para asegurar que los elementos tengan características deseables de advertencia visible, al igual que ductilidad razonable en la falla, se recomienda que el área del acero a tensión en los elementos simplemente reforzados no exceda el 75% del área para una falla balanceada (R. Park & T. Paulay, 1994, pág. 70-71).

En la sección rectangular sometida a flexión indicada en la figura 2.10 (ver anexos) se denomina:

- d = Peralte efectivo del elemento.
- $\rho$  = Cuantía (porcentaje del refuerzo de acero).
- b = Ancho del bloque comprimido.
- $A_s$  = Área de acero en tracción.
- c = Profundidad del eje neutro.
- a = Altura del bloque comprimido rectangular equivalente.

Se define a la cuantía como:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \dots \dots \dots (30)$$

Por equilibrio en la figura N° 2.9, se tiene que fuerza de compresión = fuerza de tracción:

$$(0.85).f'_c.b.a = A_s f_y \dots \dots \dots (31)$$

Se obtiene:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \dots \dots \dots (32)$$

Reemplazando  $A_s$  por  $(\rho b d)$ :

$$a = \frac{\rho d f_y}{0.85 f'_c} \dots \dots \dots (33)$$

Tomando momentos en la ubicación de la resultante en tracción (en la ubicación de  $A_s$ ).

$M_u$  = Fuerza de compresión x distancia

$$M_u = (0.85 f'_c b a) (d - a/2) \dots \dots \dots (34)$$

Tomando momentos en la ubicación de la resultante en compresión:

$$M_u = (A_s f_y) (d - a/2) \dots \dots \dots (35)$$

Reemplazando (33) en (34) y denominado “w” a  $\rho f_y / f'_c$ , se tiene:

$$a = w d / 0.85 \dots \dots \dots (36)$$

$$M_u = 0.85 f'_c \frac{b w d}{0.85} \left( d - \frac{w d}{2 \times 0.85} \right) \dots \dots \dots (37)$$

$$M_u = f'_c b d^2 w (1 - 0.59 w) \dots \dots \dots (38)$$

Para diseño se usará el factor  $\phi = 0.9$ , siendo  $M_u$ :

$$M_u = \phi f'_c b d^2 w (1 - 0.59 w) \dots \dots \dots (39)$$

En base a esta ecuación se podrá diseñar cualquier sección transversal puesto que la única incógnita será w.

Obteniendo w mediante la resolución de una ecuación de segundo grado se conocerá la cuantía de acero de refuerzo ( $\rho$ ), luego el  $A_s$  requerido, y la profundidad del bloque comprimido (Blanco, 2011, pág. 143-144).

**c) Métodos de Diseño**

En la actualidad existen, básicamente, dos métodos de diseño en concreto armado (Harmsen, 2005, pág. 3-4):

- ✓ El diseño elástico consiste en conseguir que los esfuerzos que va a resistir la estructura no excedan los esfuerzos admisibles, que son una fracción de la resistencia del concreto y del esfuerzo de fluencia del acero.
- ✓ El diseño por rotura se fundamenta en la predicción de la carga que ocasiona la falla del elemento en estudio y analiza el modo de colapso del mismo. Este método considera a las cargas vivas y muertas afectadas por valores coeficientes de diseño. También toma en consideración el comportamiento inelástico del acero y el concreto y por lo tanto, se estima mejor la capacidad de carga del elemento.

### c.1. Método Elástico

#### c.1.1. Análisis de Secciones Sometidas a Flexión por el Método Elástico

Este método se diseña en un estado de agrietamiento, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (Ortega, 2014, pág. 51):

- ✓  $f_c \leq 0.45f'_c$
- ✓  $f_s = 1400 \text{ Kg/cm}^2$  para:  $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$ , y  $f_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$
- ✓  $f_s = 1700 \text{ Kg/cm}^2$  para:  $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$

➤ Tomando momentos de áreas de concreto:

$$1. \quad b \cdot kd \cdot kd/2 = nA_s(d-kd)$$

$$k^2 b^2 d^2 = (2nA_s d - 2nA_s k d)(1/bd^2)$$

$$k^2 + 2n \frac{A_s}{bd} k - 2n \frac{A_s}{bd} = 0$$

Pero:  $A_s/bd = \rho$  (cuantía)

$$k^2 + 2n\rho k - 2n\rho = 0$$

$$k = \frac{-(2n\rho) \pm \sqrt{(2n\rho)^2 - 4(1)(2n\rho)}}{2(1)}$$

$$k = -n\rho \pm \sqrt{n^2\rho^2 + 2n\rho}$$

$$k = \sqrt{n^2\rho^2 + 2n\rho} - n\rho \dots \dots \dots (40)$$

➤ Por equilibrio:

1. Para el concreto:

$$M_c = C \cdot j \cdot d$$

$$M_c = \frac{f_c \cdot k \cdot b \cdot d \cdot j \cdot d}{2}$$

$$M_c = \frac{f_c \cdot k \cdot b \cdot j \cdot d^2}{2} \dots \dots \dots (41)$$

$$f_c = \frac{2M_c}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2} \dots \dots \dots (42)$$

$$d = \sqrt{\frac{2M_c}{k \cdot j \cdot b \cdot f_c}} \dots \dots \dots (43)$$

2. Para el acero:

$$M_s = T_s \cdot j \cdot d$$

$$M_s = f_s \cdot A_s \cdot j \cdot d \dots \dots \dots (44)$$

$$f_s = \frac{M_s}{A_s \cdot j \cdot d} \dots \dots \dots (45)$$

$$A_s = \frac{M_s}{f_s \cdot j \cdot d} \dots \dots \dots (46)$$

➤ Relación modular:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots \dots \dots (47)$$

➤ Valor j:

$$j = 1 - k/3 \dots \dots \dots (48)$$

**c.1.2. Diseño de Secciones Sometidas a Flexión por el Método Elástico**

Las fórmulas anteriormente deducidas pueden ser utilizadas para el diseño pero es necesario calcular el valor de “k” permisible.

➤ El valor de k permisible se deduce del diagrama de deformaciones (Ortega, 2014; ver figura 2.11 de anexos):

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{kd}{d - kd}$$

$$\epsilon_c = \frac{f_c}{E_c}, \epsilon_s = \frac{f_s}{E_s}$$

$$\frac{f_c/E_c}{f_s/E_s} = \frac{k}{1-k}$$

$$n f_c - n f_c k = f_s k$$

$$k = \frac{n f_c}{f_s + n f_c} \dots \dots \dots (49)$$

**c.2. Análisis y Diseño de Secciones en Flexión por el Método de Resistencia Última**

Blanco (2011, pág. 147-150) menciona tres métodos como los más conocidos para el diseño de secciones simplemente reforzadas:

**c.2.1. Método de la Fórmula General**

1) Cálculo del índice de refuerzo (w):

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7M_u}{\phi f'_c b d^2}} \dots \dots \dots (50)$$

2) Cálculo de la cuantía:

$$\rho = \frac{w f'_c}{f_y} \dots \dots \dots (51)$$

3) Cálculo del acero:

$$A_s = \rho b d \dots \dots \dots (52)$$

**c.2.2. Método de Tablas**

1) Momento último:

$$M_u = \underbrace{\phi f'_c w (1 - 0.59w)}_{K_u} b d^2 \dots \dots \dots (53)$$

$$M_u = K_u b d^2 \dots \dots \dots (54)$$

2) Cálculo de  $K_u$ :

$$K_u = \frac{M_u}{b d^2} \dots \dots \dots (55)$$

3) Cálculo de cuantía:

Con el valor calculado de  $K_u$  entramos en la tabla N° 2.4 (ver anexos) y hallamos el valor de la cuantía ( $\rho$ ).

4) Cálculo de la cuantía:

- ✓ Para hallar el valor de la cuantía se ingresa con el valor de  $f'_c$  y  $K_u$ .
- ✓ Con el valor hallado de  $\rho$ , calculamos la cantidad de acero:

$$A_s = \rho b d$$

- ✓ Si no se tiene un valor de  $K_u$  igual al de las tablas, se interpola entre dos valores para el cálculo de la cuantía.

**c.2.3. Método de Tanteos Aproximados Sucesivos**

1) Suponemos un valor de “a” (altura del bloque de compresiones), que para el primer tanteo se suele tomar  $d/3$ .

2) Empleamos la fórmula:

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (56)$$

3) Cálculo del área de acero:

$$A_s = \frac{M_n}{f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \dots \dots \dots (57)$$

4) Con el valor calculado del área de acero recalculamos a:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \dots \dots \dots (58)$$

5) Si el valor de “a” supuesto es igual al valor de “a” calculado (real), entonces el valor de  $A_s$  es aceptado, de lo contrario, se procederá a hacer otra iteración hasta que:  $a_{sup.} \approx a_{real}$

#### d) Secciones T

Generalmente las vigas utilizadas en los pisos o techos no tienen forma rectangular, sino que son en realidad vigas de forma T. Independientemente al problema de como plantear las ecuaciones para el diseño de una viga T, se debe primero cuantificar cuál es el ancho de losa contribuyente en compresión para la viga, ya que a partir de ese valor definido, se podrá desarrollar las ecuaciones de equilibrio y de diseño.

##### d.1. Análisis de Vigas T

En el análisis de vigas T generalmente la profundidad al eje neutro es pequeña debido al área grande del patín. En consecuencia, generalmente ocurre una falla en tensión, por lo que comúnmente es seguro suponer en el análisis que  $f_s=f_y$ ; se puede verificar posteriormente la validez de esta suposición al encontrar la posición del eje neutro. En la figura 2.12 (ver anexos) se muestra una sección de viga T cuando se alcanza la resistencia a la flexión (Park & Paulay, 1994, pág. 97-98).

Se puede iniciar el análisis suponiendo que  $c < h_f$  (el eje neutro está en el patín) en que  $h_f$  = espesor del patín. Por equilibrio,  $C = T$ .

$$0.85f'_c ab = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85f'_c b} = \frac{\rho f_y d}{0.85f'_c} = \frac{wd}{0.85} \dots \dots \dots (59)$$

En que  $\rho = A_s/bd$  y  $w = \rho f_y/f'_c$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = 1.18 \frac{wd}{\beta_1} \dots \dots \dots (60)$$

Si  $c < h_f$ , el eje neutro está en el patín como se supuso, y:

$$M_u = A_s f_y (d - 0.5a) \dots \dots \dots (61)$$

Cuando el eje neutro está en el patín, se puede analizar la sección como si fuese una sección rectangular de ancho b.

Si  $c = 1.18wd/\beta_1 > h_f$ , el eje neutro está en el alma. Entonces los valores calculados para “a” y “c” de las ecuaciones (13) y (14) son incorrectos. Al reescribir la ecuación de equilibrio  $C = T$  para el eje neutro en el alma, se obtiene:

$$0.85f'_c[ab_w + h_f(b-b_w)] = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s f_y - 0.85f'_c h_f (b - b_w)}{0.85f'_c b_w} \dots \dots \dots (62)$$

En que  $b_w$  es el ancho del alma. La fuerza resultante de compresión actúa en el centroide del área comprimida de perfil T, que se puede dividir en el rectángulo sobre el alma y dos rectángulos en el patín. Tomando momentos de estos rectángulos respecto del acero de tensión se obtiene:

$$M_u = 0.85f'_c a b_w \left( d - \frac{a}{2} \right) + 0.85f'_c (b - b_w) h_f \left( d - \frac{h_f}{2} \right) \dots \dots \dots (63)$$

En que la ec. (62) da el valor de “a”. Se puede verificar con el diagrama de deformaciones que el acero a tensión esté fluyendo. El acero a tensión está cediendo si:

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d - c}{c} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \dots \dots \dots (64)$$

Si el acero a tensión no está cediendo, se debe sustituir  $f_y$  en las ecuaciones (59) a (65) por el siguiente esfuerzo del acero que se encuentra del diagrama de deformaciones:

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} E_s \dots \dots \dots (65)$$

Y volver a efectuar los cálculos.

## d.2. Diseño de Vigas T

Para el diseño de vigas T se debe analizar las distintas posibilidades de ubicación del eje neutro. Se podrá tener cuatro opciones de acuerdo a ello (ver figura 2.13 de anexos; Blanco, 2011, pág. 166-167).



- **Caso I:** El eje neutro se encuentra dentro del espesor de la losa. La viga puede considerarse como una viga rectangular de ancho  $b$ .
- **Caso II:** El eje neutro se encuentra en el límite del espesor de la losa y es equivalente al caso uno, en cuanto que el diseño sigue siendo el de viga rectangular.
- **Caso III:** El eje neutro ha sobrepasado el espesor de la losa. En este caso si tenemos una viga con forma T para el bloque comprimido, que sin embargo, se puede descomponer en dos vigas rectangulares. La primera con alas totalmente comprimidas, que forman una viga rectangular de ancho  $(b-b_w)$ , y la segunda que es otra viga rectangular de ancho  $b_w$ .
- **Caso IV:** La compresión está en la parte inferior y por tanto no interesa el ancho de la losa contribuyente, pues está en tracción; para este caso es evidente que el diseño es el de una viga rectangular de ancho  $b_w$ .

#### e) Esfuerzo Cortante y Tracción Diagonal

La transmisión de cortante en vigas de concreto armado se apoya fuertemente en la resistencia a tracción y compresión del concreto, y tiene como característica primordial un tipo de falla que no es dúctil. En consecuencia se debe tratar de suprimir dicha falla; por lo que, la resistencia a cortante del miembro debe ser algo mayor que la resistencia máxima a flexión (Blanco, 2011, pág. 249; Harmsen, 2005, pág. 129).

##### e.1. Diseño de Elementos Prismáticos Sometidos a Fuerza Cortante

Para realizar el diseño por corte se tiene que tener en cuenta las siguientes consideraciones (Harmsen, 2005, pág. 137):

- 1) La resistencia nominal al corte en una sección cualquiera, será la suma de las resistencias aportadas por el concreto y el refuerzo de acero:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (66)$$

- 2) En todas las secciones deberá cumplirse que:

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (67)$$

## **e.2. Resistencia del Concreto a Fuerza Cortante**

A continuación se presentan las expresiones para determinar la resistencia del concreto al corte para diferentes situaciones (Harmsen, 2005, pág. 140-141; Blanco, 2011, pág. 251-254):

- a. Para miembros sujetos únicamente a corte y flexión:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'c}b_w d \dots \dots \dots (68)$$

- b. La resistencia del concreto no será mayor que:

$$V_c \leq 0.93\sqrt{f'c}b_w d \dots \dots \dots (69)$$

- c. Si el elemento está sometido a considerable esfuerzo de tracción se puede efectuar el diseño despreciando la resistencia del concreto, es decir, considerando que  $V_c = 0$ .

- d. En el caso de las losas la fuerza cortante debe ser totalmente resistida por el concreto, ya que no se pueden colocar estribos de refuerzo para el corte.

### **2.3.3.6. Control de las Condiciones de Servicio**

El control de deflexiones es una etapa muy importante en el diseño de estructuras no sólo en el caso del concreto armado. Un exceso de deflexiones estropea la apariencia de la estructuras y en muchos casos, alarma a los usuarios sin motivos.

La magnitud de las deformaciones es afectada por la calidad del concreto pero básicamente por el cuidado que se tenga en obra, el curado insuficiente, compactación inadecuada, el desencofrado de vigas antes del tiempo especificado y el almacenamiento de material de construcción sobre losas que aún no han alcanzado una resistencia mínima (Harmsen, 2005, pág. 199-200).

### **2.3.3.7. Método del ACI para el Control de Deflexiones**

El código ACI propone dos métodos para el control de deflexiones a nivel de cargas de servicio. El primero de ellos es aplicable a elementos sometidos a flexión que están ligado a piezas estructurales que pueden ser afectadas por deflexiones

excesivas. Este método consiste en dar un espesor o peralte mínimo a losas y vigas, que garantice que las deformaciones se mantengan dentro de un rango aceptable.

El segundo método para el control de deflexiones consiste en estimar su magnitud y verificar que no exceda los límites propuestos (ver tabla 2.5 en anexos; Harmsen, 2005, pág. 200-201).

#### **2.3.3.8. Cálculo de Deflexiones**

Las deflexiones de los elementos de concreto armado dependen del tiempo y por lo tanto pueden ser de dos tipos: instantáneas y a largo plazo. Las primeras se deben fundamentalmente al comportamiento elástico de la estructura y se producen inmediatamente después que las cargas son aplicadas. Las segundas son consecuencia del creep, de la contracción del concreto y cargas sostenidas a lo largo del tiempo (Harmsen, 2005, pág. 201).

##### **a) Deflexión Instantánea**

Las deflexiones instantáneas son deformaciones elásticas y se calculan con las expresiones de resistencia de materiales (Harmsen, 2005, pág. 202).

##### **b) Deflexión a Largo Plazo**

Las deformaciones a largo plazo son ocasionadas por la carga muerta que resiste la estructura y por aquella parte de la carga viva actuante durante un periodo suficiente como para permitir el desarrollo de deflexiones considerables y se ven influenciadas por la temperatura, humedad, condiciones de curado, edad del concreto al aplicarle la carga, cantidad de refuerzo a compresión, magnitud de la carga permanente, etc.

Las flechas a largo plazo se determinan multiplicando la deflexión instantánea producida por la carga considerada por un factor  $\lambda_{\Delta}$  igual a:

$$\lambda_{\Delta} = \xi / (1 + 50\rho') \dots\dots\dots (70)$$

Donde:

- $\xi$ : Factor dependiente del tiempo que actúa la carga considerada, es igual a:
  - Para 5 años o más ..... 2
  - Para 12 meses ..... 1.4
  - Para 6 meses ..... 1.2
  - Para 3 meses ..... 1.0
  
- $\rho'$ : Cuantía de acero en compresión al centro de la luz para elementos continuos o simplemente apoyados y en el apoyo para volados.

Se pueden evitar las deformaciones incrementando el peralte de la sección, colocando acero en compresión, o proveer al elemento de una contraflecha (Harmsen, 2005, pág. 206-207).

### 2.3.3.9. Losas Armadas en una Dirección

Las losas son los elementos que hacen posible la existencia de los pisos y techos de una edificación. Tienen dos funciones principales desde el punto de vista estructural: la primera es la transmisión hacia las vigas y columnas de las cargas propias de la losa, el piso terminado, la sobrecarga y eventualmente tabiques u otros elementos apoyados en ellos (cargas de gravedad) ; y la segunda, relacionada con las cargas de sismo, que es la obtención de la unidad de la estructura, de manera que esta tenga un comportamiento uniforme en cada piso (diafragma rígido), logrando que las columnas y muros se deformen una misma cantidad en cada nivel (Blanco, 2011, pág. 15-16).

#### a) Tipos de Losas

Blanco (2011, pág. 18-19) menciona acerca de los diferentes tipos de losas lo siguiente (ver figura 2.14 de anexos):

- **Losas Aligeradas:** Son en esencia losas nervadas, pero que tienen como diferencia, que el espacio existente entre las nervaduras o viguetas esté relleno por un ladrillo aligerado (con espacios vacíos tubulares).

- **Losas Nervadas:** Son losas que tienen nervios o viguetas cada cierta distancia, unidas por una losa maciza superior más delgada, requiriendo de un encofrado que siga la superficie lateral de las nervaduras y el fondo de la losa superior.
- **Losas Macizas:** Tienen un determinado espesor, son íntegramente de concreto armado y reforzadas con acero.

#### **2.3.3.10. Diseño de Losas Armadas en un Sentido**

Las losas armadas en una dirección se caracterizan porque la relación entre las dimensiones de sus paños es mayor que dos por lo que el elemento presenta una curvatura de deflexión más marcada en una dirección como se aprecia en la figura 2.15 (ver anexos). El refuerzo principal se distribuye paralelo a la dirección donde se presenta la mayor curvatura.

Tienen sus apoyos perpendicularmente al sentido del armado, los cuales pueden tener un determinado grado de restricción o en el caso extremo no tendrán restricción entre viga y losa, o apoyo y losa. Los conocimientos básicos a ser usados y los criterios a tomarse en cuenta para el diseño de las losas armadas en un sentido son los mismos que para vigas con armadura en tracción solamente (Ortega, 2014, pág. 93).

##### **a) Método de los Coeficientes ACI**

El código ACI propone un método aproximado para la determinación de las fuerzas internas en estructuras de concreto armado. Este procedimiento es válido para vigas y losas armadas en una dirección.

##### **➤ Limitaciones**

El método aproximado del ACI, llamado también método de los coeficientes, puede ser utilizado siempre que se satisfagan las siguientes condiciones:

- 1) La viga o losa debe contar con dos o más tramos.
- 2) Los tramos deben tener longitudes casi iguales (en dos tramos adyacentes no deberá diferir la longitud en más de 20%).
- 3) Las cargas deben ser uniformemente distribuidas.

- 4) La carga viva no debe ser mayor que el triple de la carga muerta.
- 5) Los elementos analizados deben ser prismáticos.

➤ **Coefficientes de Diseño**

Los momentos flectores y fuerzas cortantes son función de la carga última aplicada, de la luz libre entre tramos y de las condiciones de apoyo. El código propone las siguientes expresiones para determinarlos:

- 1) Momento positivo:
  - 1.1. Tramo exterior:
    - Extremo no solidario con el apoyo .....  $WuLn^2/11$
    - Extremo solidario con el apoyo .....  $WuLn^2/14$
    - Tramos interiores .....  $WuLn^2/16$
- 2) Momento negativo en la cara exterior del primer apoyo interior:
  - 2.1. Dos tramos .....  $WuLn^2/9$
  - 2.2. Más de dos tramos .....  $WuLn^2/10$
- 3) Momento negativo en las otras caras de los apoyos interiores ...  $WuLn^2/11$
- 4) Momento negativo en la cara de todos los apoyos para losas con luces menores que 3.5 m y para vigas en las que la relación entre la suma de las rigideces de las columnas y la rigidez de la viga excede 8, en cada extremo del tramo .....  $WuLn^2/12$
- 5) Momento negativo en la cara interior del apoyo exterior si el elemento es solidario con el apoyo
  - 5.1. Si el apoyo es una viga de borde .....  $WuLn^2/24$
  - 5.2. Si el apoyo es una columna .....  $WuLn^2/16$
- 6) Corte en el tramo exterior en la cara del primer apoyo interior:  
 $1.15WuLn/2$
- 7) Corte en los apoyos restantes .....  $WuLn/2$

El método de los coeficientes ACI proporciona momentos y fuerzas cortantes conservadores, toma en consideración la alternancia de cargas vivas y presenta la envolvente de la carga de gravedad. Por ello, limita la carga viva en relación a la carga permanente (Harmsen, 2005, pág. 217-220).

### 2.3.3.10.1. Losas Macizas Armadas en una Dirección

Las losas unidireccionales son consideradas, para el análisis y diseño, como vigas de poco peralte y ancho unitario. De este modo la losa se asume igual a un conjunto de vigas ubicadas unas al lado de las otras. Esta simplificación permite obtener resultados conservadores pues se desprecian las fuerzas perpendiculares a la dirección de mayor curvatura que rigidizan el sistema.

Para el diseño de estos elementos es necesario tomar en cuenta algunos criterios adicionales como el espaciamiento máximo del refuerzo principal el cual no deberá ser mayor que tres veces el espesor de la losa ni mayor que 45 cm (Harmsen, 2005, pág. 227).

#### a) Refuerzo por Contracción y Temperatura

Las estructuras de extensión considerable, como las losas, están sometidas a esfuerzos altos generados por la contracción por fragua y los cambios de temperatura, los que tienden a ocasionar agrietamientos pronunciados. Para evitar este fenómeno se requiere de una cierta cantidad de refuerzo, denominado comúnmente refuerzo de temperatura (Harmsen, 2005, pág. 228).

El área de refuerzo máximo de acero será:

1.  $A_{sm\acute{a}x} = 0.75\rho_b b h$

El área de refuerzo dado por NTE –E.060-9.7, es:

1. Barras lisas ..... 0.0025bh
2. Barras corrugadas con  $f_y < 4200 \text{ Kg/cm}^2$  ..... 0.0020bh
3. Barras corrugadas o malla de alambre (liso o corrugado) de intersecciones soldadas, con  $f_y \geq 4200 \text{ Kg/cm}^2$  ..... 0.0018bh

Donde:

b: Ancho de la losa.

h: Peralte de la losa.

### 2.3.3.10.2. Losas Nervadas o Aligeradas Armadas en una Dirección

Las losas nervadas permiten salvar luces grandes, livianas y económicas. Están constituidas por una serie de pequeñas vigas T, llamadas nervaduras o viguetas, unidas a través de una losa de igual espesor que el ala de la viga. En la viga T es donde va alojada la armadura resistente. En la figura 2.16 (ver anexos) se muestra la sección de una losa nervada en la que se puede apreciar que el refuerzo se concentra en el alma de las viguetas (Harmsen, 2005, pág. 228-231).

Los ladrillos utilizados en losas aligeradas pueden ser de arcilla o concreto. En el mercado peruano se pueden encontrar de las dimensiones presentadas en la tabla 2.6 (ver anexos).

Para el diseño de losas aligeradas con ladrillos, el peso propio de la losa se puede estimar empleando la tabla 2.7 (ver anexos).

#### a) Comportamiento de la Losa Aligerada

Las losas aligeradas se diseñan como elementos en flexión, por ello la zona traccionada es estáticamente inactiva para el concreto pudiendo en consecuencia ser eliminado para dejar esa zona vacía, o bien ser reemplazada por materiales más livianos, incluso con mejor aislamiento térmico o acústico, dejando únicamente a las viguetas con la función estructural.

Una losa aligerada está formada por viguetas de 10 cm de ancho, espaciadas 40 cm entre ejes y tiene una losa superior de 5 cm. En el Perú los aligerados usuales son de espesores: 17 cm, 20 cm, 25 cm, y 30 cm (Abanto, 2012, pág. 242).

#### b) Refuerzo Mínimo y Máximo

En momentos negativos el acero se distribuirá en las zonas de esfuerzo máximo y parte en zonas de ancho efectivo del ala. Se considerará el total de la losa superior como efectiva y generalmente se recomienda que la armadura para momentos negativos se distribuya totalmente en la losa superior.

$$\checkmark \rho_{\min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y} \dots \dots \dots (71)$$

$$\checkmark \rho_{\max} = 0.75\rho_b \dots \dots \dots (72)$$



### c) Espaciamiento Máximo de Varillas (por control de grietas)

El espaciamiento máximo de varillas para momento negativo en la parte superior de la losa será limitado por (NTE-E.060-9.7; Abanto, 2012, pág. 251):

- ✓  $S = \frac{Ab \times 1.00m}{A_s}$ , donde  $Ab$  es el área de la varilla elegida y  $A_s$  es el área total del acero necesario.
- ✓  $S \leq 5h_f$ , donde  $h_f$  es la altura del espesor de la losa (para losas aligeradas en un sentido).
- ✓  $S \leq 3h_f$ , donde  $h_f$  es la altura del espesor de la losa.
- ✓  $S \leq 40$  cm.
- ✓ Se utilizará el menor valor obtenido para  $S$ .

## 2.3.4. SISTEMA DE LOSA COLABORANTE

### 2.3.4.1. Descripción del Sistema de Losa Colaborante

Al sistema de losa colaborante también se le conoce como sistema Steel Deck. Este sistema hace parte de un sistema de losas de entrepiso y de cubierta que incorpora láminas de acero formadas en frío (steel deck) y una losa de concreto reforzada vaciada sobre dichas láminas y que actúan de manera monolítica conformando una sección compuesta.

Esta propiedad de la lámina de actuar como refuerzo de la losa da las características de lámina colaborante. El sistema puede utilizarse en edificios donde la estructura principal es en concreto o en acero y debe conectarse adecuadamente a las vigas principales de apoyo para servir de diafragma estructural. Adicionalmente puede apoyarse convenientemente sobre muros estructurales de concreto armado o en muros de mampostería. En la figura 2.17 (ver anexos) se presenta el esquema general del sistema estructural de entrepiso Steel Deck (Ascencio, 2006, pág. 20-21; Llopiz, 2012, pág. 22).

### 2.3.4.2. Funciones de la Lámina de Acero

La lámina de acero tiene dos funciones principales que son (Ascencio, 2006, pág. 21, Llopiz, 2012, pág. 23-24):

- ✓ La primera función, es que, durante el proceso constructivo sirve como panel de encofrado y también para conformar una plataforma segura de trabajo, eliminando así la necesidad de armar y desarmar los paneles temporales comúnmente utilizados.
- ✓ La segunda función, se da cuando actúa como componente estructural definitivo, haciendo las veces de refuerzo positivo de la losa. Una vez endurecido el concreto fresco, el concreto y el acero actúan en forma compuesta para resistir las cargas muertas y las cargas vivas sobre impuestas. La interacción se forma a partir de una combinación de adherencia superficial entre el concreto y el acero, y por medios mecánicos mediante la restricción impuesta por la forma de la lámina a través de resaltes o hendiduras que hay su superficie, o dispositivos tales como pernos o vástagos uniformemente espaciados.
- ✓ Adicionalmente la losa en construcción compuesta y la viga de acero o concreto armado que sirve de apoyo a la misma, pueden interconectarse convenientemente mediante conectores de corte, para producir una sola unidad estructural a flexión la cual tiene mayor resistencia y rigidez que una losa y viga independientes.

#### **2.3.4.3. Longitudes de apoyo**

Como regla general se recomienda utilizar una longitud de apoyo de por lo menos 4 cm y no menor de 2.50 cm, cuando la lámina se instale sobre la viga, la cual impedirá que la placa resbale de su apoyo. Si esta condición no puede cumplirse, por razones constructivas o cuando se esperen reacciones considerables en los apoyos, deberá verificarse los esfuerzos en el alma de la lámina. En casos críticos se recomienda de todas maneras sujetar convenientemente la lámina a la viga o elemento de apoyo para evitar que resbale (Ascencio, 2006, pág. 42; Ramos, 2002, pág. 38).

#### **2.3.4.4. Conectores de Corte**

Los conectores de corte son elementos de acero, está formado de una sola pieza con protección galvánica electroquímica de zinc conforme a la norma ASTM B-633. La altura del conector de corte variará entre 2.5" y 4", dependiendo de la altura

de la losa. Las funciones que tiene un conector de corte son (Llopiz, 2012, pág. 17; Manual Acero Deck, 2013, pág. 70; ver tabla 2.8 en el anexo IV):

- ✓ El conector de corte realiza una unión permanente entre la losa y las vigas de apoyo, permitiendo que estos dos elementos trabajen en forma conjunta.
- ✓ Su función principal es tomar los esfuerzos de corte que se generan en la sección compuesta (acero-concreto).
- ✓ Otra función importante de estos elementos es aportar resistencia a la flexión a la losa compuesta.
- ✓ Impedir una separación vertical entre la losa colaborante y la viga de apoyo.

#### **2.3.4.5. Topes de Borde:**

Los topes de borde o perfiles de borde son elementos de acero galvanizado cuya función es encofrar el perímetro de la losa colaborante (Manual Acero Deck, 2013, pág. 46; ver tabla 2.9 en anexo IV).

#### **2.3.4.6. Topes de cierre:**

Los topes de borde o perfiles de borde son elementos de acero galvanizado cuya función es permitir un cierre permanente del sector de la losa donde la placa colaborante llega a las vigas de apoyo. (Manual Acero Deck, 2013, pág. 47; ver tabla 2.10 en anexo IV).

#### **2.3.4.7. Acabados:**

Se dan principalmente tres tipos de acabado (Manual Acero Deck, 2013, pág. 20-21; ver figura 2.18 en anexo III):

- a) **Acabado Natural:** Se puede dejar la plancha galvanizada ACERO DECK expuesta sin recubrimiento.
- b) **Acabado Pintado:** Se utiliza el tipo de pintura de acuerdo al uso.
- c) **Acabado Cielo Raso:** Las planchas de drywall u otro material para ser utilizadas como cielo raso pueden ser fijadas directamente a la losa colaborante ACERO DECK mediante espárragos, colgadores o canales.

#### 2.3.4.8. Ventajas del Sistema de Losa Colaborante

El sistema de losas colaborantes ofrece ventajas significativas con respecto a otros sistemas de entrepiso tradicionales. Las principales ventajas del sistema son (Ascencio, 2006, pág. 7; Ramos, 2002, pág. 14; Bilbao, 2004, pág. 29; Garino, 2010, pág. 9):

- **Funcional:** Se acomoda a un gran número de aplicaciones prácticas y a muchas situaciones diferentes de entrepiso para edificaciones.
- **Resistencia estructural con menos peso:** Se utilizan las propiedades del acero con una eficiencia máxima tanto en el diseño como en la fabricación, obteniéndose un producto con una alta relación de resistencia a peso.
- **Construcción en todos los climas:** Eliminando los costos de retrasos que pueden presentarse con otros sistemas de entrepiso.
- **Calidad uniforme:** Debido al estricto control de calidad es posible obtener condiciones de resistencia en obra muy similares a las de diseño, y lograr así una calidad uniforme del producto en general.
- **Durabilidad garantizada:** El producto ha sido utilizado en otros países por más de medio siglo evidenciando un comportamiento satisfactorio, lo cual es la mejor garantía de durabilidad.
- **Facilidad constructiva:** Se necesita menor construcción in situ, ya que los perfiles y la chapa de acero vienen fabricados, cumpliendo con las normas de calidad requeridas. Y también hay otros factores constructivos que pueden mencionarse como su bajo peso, óptimo almacenamiento en obra, rapidez de instalación, no contamina otros materiales, se adapta a cualquier geometría y puede utilizarse tanto en estructuras metálicas como en estructuras de concreto.
- **Función estructural:** Sirve como encofrado de la losa de concreto, plataforma de trabajo y refuerzo en tensión de la losa una vez fraguado el concreto.
- **Economía:** El manejo de la lámina en la obra no requiere de personal calificado ni de un proceso de transformación para su instalación, por lo que se puede obtener grandes rendimientos en su ejecución y bajos costos.
- **Adaptabilidad:** Fácil distribución de los sistemas eléctricos y sistemas de aire acondicionado. La forma geométrica de los perfiles de acero permiten la

formación de ductos a través de los cuales pueden atravesar sistemas de cableados.

#### **2.3.4.9. Desventajas del Sistema de Losa Colaborante**

Las posibles menores desventajas que pudieran tener estos sistemas de piso, son las siguientes (Ascencio, 2006, pág. 7; Ramos, 2002, pág. 14; Bilbao, 2004, pág. 29; Garino, 2010, pág. 9):

- No se permite el uso de aditivos o acelerantes en el concreto que contengan sales clorhídricas ya que éstos pueden producir corrosión sobre la lámina de acero.
- En lugares húmedos la lámina necesita un mantenimiento constante y una adecuada protección.
- Baja resistencia al fuego. Los criterios de resistencia a tener en cuenta respecto a esta desventaja son:
  1. La seguridad estructural: Que es la capacidad que tiene la losa para resistir bajo las cargas de servicio que se producen durante la exposición al fuego.
  2. El aislamiento: Que es la limitación del aumento de temperatura sobre la cara no expuesta de la losa.
  3. La integridad: Que es la capacidad de la losa de resistir la penetración de llamas o gas caliente debido a la formación de fisuras y aberturas.

En el caso de forjados colaborantes integrados en una estructura, se puede conseguir una mayor resistencia al fuego mediante:

- ✓ Colocación de un techo falso protector.
  - ✓ Proyección de un material protector ignífugo en la cara inferior del forjado.
- 
- Otra desventaja menor es que justo antes de vaciar el concreto en la lámina, ésta debe ser limpiada y remover todo los desperdicios que pudieran haberse

posado durante su colocación. Esto es necesario para garantizar la adherencia entre ambos materiales.

### **2.3.5. CORROSIÓN**

La corrosión es un proceso espontáneo y continuo que afecta a un material, en este caso el acero, como una serie de alteraciones físico químicas por la acción de agentes naturales. El acero, cuyo mineral de origen es el hierro en forma de óxidos, está expuesto a la corrosión u oxidación.

Una mención especial se debe hacer de los aceros inoxidable, muchos estudios permitieron comprender que el alto contenido de carbono en las aleaciones de acero, disminuye su resistencia a la corrosión, en tanto que un contenido de al menos 12% de cromo, otorga una resistencia a la corrosión que permite hablar de aceros inoxidable. Hoy, la aleación básica se ajusta a mínimo 10,5% de cromo un máximo 30% de níquel (Ortega, 2014, pág. 32-33).

#### **2.3.5.1. Protección:**

Se debe tener en cuenta que existirán dos posibles casos de corrosión en la lámina de acero deck, la primera será para la parte de la superficie que recibirá al concreto o superficie superior y la segunda será la superficie que queda expuesta o superficie inferior.

El uso de sistemas de protección utilizados son el galvanizado y la pintura, estos sistemas de protección permiten tener una protección adecuada del acero ante agentes agresivos presentes en el medio donde se instalen las placas colaborantes (Manual de Diseño Acero Deck, 2013, pág. 20).

##### **a) Galvanizado**

Cabe resaltar que las bobinas de acero utilizadas cumplen con las normas ASTM A-653/A-653M y las normas A-611 grado C, las cuales indican que se tiene recubrimiento de galvanizado en ambas caras de la plancha, considerando diversos espesores de zinc en la superficie.

Los tipos de galvanizado que se utilizan actualmente para este tipo de planchas son el G30 (de baja resistencia a la corrosión), el G60 (mediana resistencia a la corrosión) y el G90 (alta resistencia a la corrosión).

El tipo de galvanizado que se utiliza en el Sistema constructivo Acero Deck es calidad G90 (alta resistencia a la corrosión). Para el caso de medio ambientes altamente corrosivos, se sugiere utilizar como complemento algún tipo de pintura de alta resistencia a la corrosión (Manual Acero Deck, 2013, pág. 22).

#### **b) Pinturas anticorrosivas**

Siendo el caso que el diseñador lo sugiera y justificada, estas láminas deberán llevar un recubrimiento adicional de pintura el cual será especificado en los planos sugiriendo el espesor y el tipo de pintura a colocar.

Entre las pinturas que más destacan para pintar este tipo de láminas tenemos las resinas vinílicas o imprimantes vinílicos, las resinas epóxicas poliamidas, resinas epóxicas con brea. Estas son pinturas de alta resistencia a la intemperie y se deben escoger acorde al uso y a la economía. El espesor de las pinturas se miden en mils (1 mils = 1 milésima de pulgada).

Este tipo de productos al ser hidrófobos tienen problemas de adherencia si existe presencia de humedad, así que las condiciones de pintado deben ser óptimas; normalmente cada fabricante da las recomendaciones necesarias para el pintado (Manual Acero Deck, 2013, pág. 22).

### **2.3.6. MÉTODOS DE DISEÑO**

Se hará un comentario acerca de dos métodos de diseño, los cuales se dan a continuación:

#### **2.3.6.1. Método de Diseño ASD**

La denominación ASD es la abreviatura de en inglés de “Allowable Stress Design”, cuya traducción al castellano es “Diseño por Esfuerzos Admisibles”. El método de

diseño ASD está especificado en las normas estadounidenses como son las normas ACI, la norma ASCE, AISCSS.

Este método de diseño es el diseño por método elástico. Para este método de diseño se estima las cargas de trabajo o de servicio que la estructura va a soportar, y se diseña a los miembros estructurales con ciertos esfuerzos permisibles, los que generalmente son cierta fracción de los esfuerzos de fluencia del concreto y el acero, estos límites no se deben exceder cuando se determinen las fuerzas en la estructura (Bruce G. Johnston, 1996, pág. 249; Jack C. McCormac, 1996, pág. 38).

En el caso del estudio desarrollado en esta tesis los esfuerzos permisibles son:

- ✓ Para el concreto:  $f_c = 0.45 f'_c$
- ✓ Para el acero:  $f_s = 0.50 f_y$

#### **2.3.6.2. Método de Diseño LRFD**

Este método es también llamado “Método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia”, este método de diseño se encuentra especificado en normas estadounidenses como la AISC, TEA y el ACI. El diseño LRFD se basa en los conceptos de estados límites. El término estado límite se utiliza para describir una condición en la que una estructura o parte de ella deja de cumplir su pretendida función. Existen dos estados límites de resistencia: los de resistencia y los de servicio (Bruce G. Johnston, 1996, pág. 275; Jack C. McCormac, 1996, pág. 39).

- ✓ Los estados límite de resistencia se basan en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluyen resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo, etc.
- ✓ Los estados límite de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio y tienen que ver con aspectos asociados con el uso y ocupación, tales como deflexiones, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos.



**a) Factores de Carga:**

En el método LRFD las cargas de trabajo o servicio se multiplican por ciertos factores de carga que generalmente son mayores que uno, las magnitudes de los factores de carga varían dependiendo del tipo de combinación de las cargas. Usualmente el factor utilizado para las cargas muertas es menor que el factor de las cargas, esto debido a que se puede estimar con mayor precisión las cargas muertas (Bruce G. Johnston, 1996, pág. 275; Jack C. McCormac, 1996, pág. 40-41).

$$CU = 1.4 DL + 1.7 LL$$

**b) Factores de Resistencia:**

Este factor es introducido para salvar incertidumbres debidas a la variación de las propiedades de los materiales, dimensiones y mano de obra. Este valor generalmente es menor que uno y se denomina por el símbolo  $\phi$ . Por ejemplo para columnas este valor es 0.85, para elementos sometidos a flexión es 0.90, etc. Estos valores son establecidos en la norma (Bruce G. Johnston, 1996, pág. 276; Jack C. McCormac, 1996, pág. 42).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

**a) Tipo de Investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicada.

**b) Nivel de Investigación**

El nivel de la investigación es descriptivo – experimental.

**c) Población de Estudio**

Losas utilizadas como sistemas de entrepiso.

**d) Muestra**

Losas aligeradas y losas colaborantes como sistemas de entrepiso.

**e) Unidad de Análisis**

Losas aligeradas con ladrillos de 30cmx30xcm y altura variable (predimensionamiento) con distancia entre viguetas de 40 cm, reforzadas con acero corrugado y losas colaborantes con placas AD-600.

### 3.2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del proyecto se han realizado investigaciones teóricas. La investigación involucró el estudio de las teorías para el análisis y diseño convencional de vigas y losas, y un modelamiento en SAP2000.

La metodología para el desarrollo de la investigación fue la siguiente:

**a) Investigación Bibliográfica**

Se buscó información sobre estudios de diseño y análisis de vigas y losas, en particular sobre losas colaborantes. También se recurrió a la lectura de

artículos técnicos relacionados con el diseño y análisis de losas colaborantes y losas aligeradas. Luego se utilizó la información obtenida para procesar datos, obtener resultados y compararlos.

#### **b) Utilización de Software**

Se utilizó el software SAP2000 v15.0.0. para el modelamiento de las losas aligerada y colaborante. Se realizó un análisis lineal de las estructuras simuladas asumiendo que los materiales utilizados se comportan dentro de un rango elástico, y luego se hizo una comparación de los resultados obtenidos.

#### **c) Cotizaciones**

Se realizaron cotizaciones para obtener los precios de los materiales a utilizar en las losas aligeradas y colaborantes. Posteriormente se efectuó una comparación de costos de ambos sistemas.

## CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO

El análisis estructural llevado a cabo, pretende predecir, basándose en fundamentos teóricos, el comportamiento estructural de una losa colaborante de concreto armado y el de una losa aligerada. En el caso de la losa colaborante, se trata un elemento estructural de sección compuesta, las estructuras serán diseñadas por métodos tradicionales de vigas y posteriormente serán modelados con un software. Los resultados arrojados nos darán la oportunidad de evaluar de alguna medida, la validez de los métodos que han sido usados.

### 4.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### a) El perfil AD-600 debe cumplir con las siguientes normas

- Norma ASTM C-78 : Ensayo de flexión.
- Norma ASTM C-119 : Ensayo de resistencia al fuego.
- Norma ASTM A-653 : Especificación para láminas de acero recubiertas de zinc (galvanizado) o de zinc-hierro por el proceso de inmersión en caliente y longitudes de corte.
- Norma ASTM A – 611 : Especificación para láminas de acero recubiertas de zinc (galvanizado) o de zinc-hierro por el proceso de inmersión en frío y longitudes de corte.
- Norma EUROCÓDIGO 4 : Resistencia a corte de los conectores.

#### b) Para el diseño de las losas aligerada y colaborante se utilizaron las siguientes normas

- Norma NTE-E.020 : Cargas.
- Norma NTE-E.060 : Concreto Armado.
- ASCE 0-84 : Strength of Composite Slabs

### 4.2. CONSIDERACIONES DE CARGA

#### 4.2.1. Cargas permanentes, sobrecargas de uso y combinaciones de carga

Un conjunto estructural, sea cual sea su finalidad o uso, está destinado a recibir y soportar un determinado nivel de sobrecargas. A medida que se incrementa el nivel

de precisión en la determinación de las sobrecargas sobre-impuestas en un sistema estructural, será más económico el diseño de los elementos que lo componen.

Siendo muy relevante la determinación de las cargas sobre-impuestas, cobra gran importancia la correcta ponderación o combinación de estas en el análisis estructural, ya que es deseable la obtención de niveles razonables de sobrecargas para la ocurrencia simultánea de los diferentes casos de carga. No es razonable ni conveniente estimar que la totalidad de los casos de carga ocurrirán en el mismo instante y en su máxima intensidad, ya que esto sería poco probable; bastará con incluir en el diseño combinaciones de carga que incorporen factores de modificación, que le asignen la debida importancia a cada caso de carga, asumiendo así una aplicación reducida de cargas en acción simultánea.

La norma NTE E.020 establece las bases para determinar las cargas permanentes y los valores mínimos de las sobrecargas de uso normales que deben considerarse en el diseño de edificios.

#### **4.2.1.1. Cargas Permanentes**

Las cargas permanentes o cargas muertas, son aquellas cargas de magnitud constante o cuya variación en el tiempo es despreciable en relación a sus valores medios, permaneciendo en un mismo lugar durante su aplicación. Las cargas permanentes se componen principalmente por peso propio de las estructuras y otras cargas asociadas a ciertos elementos permanentemente unidos a ellas, como son en edificios los pisos, los muros, las escaleras, ductos de instalaciones, etc.

En la tabla 4.1 (ver anexos) se muestran algunos pesos unitarios de materiales, para el respectivo cálculo del peso propio. Para el caso del concreto vaciado sobre las láminas colaborantes se utiliza una densidad de:

$$\gamma_c = 2400 \text{ Kg/m}^3.$$

Para las láminas de acero se utiliza una densidad de:

$$\gamma_l = 7850 \text{ Kg/m}^3.$$

#### **4.2.1.2. Sobrecargas de Uso**

Las sobrecargas de uso o cargas vivas son cargas que pueden cambiar su magnitud y posición dependiendo exclusivamente del uso del edificio que se está diseñando, estas pueden ser de diversos tipos, y van desde usos habitacionales privados hasta el uso público general. Dentro de la norma NTE-E.020 (artículo 6) se mencionan a las cargas vivas, y en la tabla 4.2 (ver anexos) se dan algunos valores.

#### **4.2.1.3. Combinaciones de Carga**

La mayoría de las estructuras de hormigón armado se diseñan suponiendo que actúan varios tipos de cargas simultáneamente sobre ellas. Al analizar el tiempo de duración de cada una de estas cargas componentes, se puede establecer que en una combinación pueden existir cargas permanentes y cargas eventuales. Para el diseño de losas de hormigón interesa saber cuál será la duración de la combinación de las cargas consideradas.

Las combinaciones de cargas que deben utilizarse para el diseño serán las mencionadas en la norma NTE-E.060. En la tabla 4.3 (ver anexos) se muestran dichas combinaciones de carga.

### **4.3. LÁMINA COLABORANTE**

#### **4.3.1. Elección General de la Lámina**

Se utilizará las láminas colaborantes fabricadas por la empresa ACEROS PROCESADOS S.A. cuyo producto es llamado “Acero Deck” ya que este producto cuenta con aprobación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, SENSICO, CISMID (ver anexo V).

#### **a) Características de Placas Colaborantes Acero Deck**

- Las láminas acero deck son de distintos espesores y longitudes, mediante un proceso de perfilado continuo y con corte computarizado automatizado se obtienen productos a la medida.
- La plancha colaborante es elaborada de bobinas de acero estructural con protección galvánica pesada G-90 (0.9oz/pie<sup>2</sup>).

- La lámina tiene un esfuerzo de fluencia de 3025 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Los calibres o espesores del acero utilizados para la formación de las planchas del sistema constructivo son calibrados en gages o como espesores en milímetros o pulgadas. Para efectos de cálculo, sólo se considera como espesor de plancha colaborante el calibre del acero base no incluyendo los espesores de galvanizado o pre-pintado. Los calibres utilizados son el gage 20 (0.909 mm) y el gage 22 (0.749 mm) con una tolerancia máxima de 5% de su espesor.
- El proceso de formación de la plancha Acero Deck incluye también un tratamiento en su superficie que le proporciona relieves o muescas ubicadas en las paredes de los valles, diseñado con el fin de proporcionar adherencia mecánica entre el concreto y la plancha de acero.

#### **4.3.2. Tipos Perfiles de Lámina Colaborante**

ACEROS PROCESADOS tienen tres tipos diferentes de placas colaborantes, los cuales se pueden escoger de acuerdo al peso que van a soportar, diseño y economía.

##### **a) Perfil Tipo AD-600**

Estas placas vienen en gages 22 (0.749 mm) y 20 (0.909mm), cuyas sobrecargas que pueden soportar y sus características se muestran en la figura 4.1, en las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 (ver anexo III y anexo IV).

##### **b) Perfil AD-730**

Estas placas vienen en gages 22 (0.749 mm) y 20 (0.909mm), cuyas sobrecargas que pueden soportar y sus características se muestran en la figura 4.2, en las tablas 4.7, 4.8, 4.9 (ver anexo III y anexo IV).

##### **c) Perfil AD-900**

Estas placas vienen en gages 22 (0.749 mm) y 20 (0.909mm), cuyas sobrecargas que pueden soportar y sus características se muestran en la figura 4.3, en las tablas 4.10, 4.11, 4.12 (ver anexo III y anexo IV).

### **4.3.3. Elección del Perfil AD**

De acuerdo a las solicitaciones de carga y las características necesarias, para el diseño de la losa colaborante se utilizará el perfil AD-600 como placa colaborante.

## **4.4. MODELO ESTRUCTURAL**

El modelo estructural usado para la determinación de los esfuerzos internos que alcanzan las secciones ante la aplicación de cargas, tienen las características que se enuncian a continuación:

### **a) Losa unidireccional**

El modelo contempla un elemento estructural lineal con apoyos o fijaciones articuladas en los extremos, uno de sus apoyos extremos presenta restricción al desplazamiento horizontal y vertical ( $u_x$ ,  $u_y$ ) y el otro extremo presenta restricción al desplazamiento vertical ( $u_y$ ). Los grados de libertad rotacionales se entienden claramente liberados.

### **b) Geometría de la Sección**

En el caso de la losa colaborante la sección transversal compuesta de la losa en estudio consta en su extremo inferior de una lámina de acero, pudiendo ser la lámina AD-600, AD-730, AD-900. Y para el caso de la losa aligerada, se trata de un sistema de sistema de vigas T (viguetas) con bloques de ladrillo.

### **c) Idealización del Modelo**

Las secciones de losas se deben simplificar en un modelo que explique de manera aceptable el comportamiento de los materiales que componen la sección. En ambos casos, las secciones se pueden estudiar como elementos de concreto armado sometidos a flexión. Tomando en cuenta el comportamiento lineal elástico de los materiales, es posible generar un diagrama de esfuerzos asociados a la sección cuando esta es sometida a esfuerzos de flexión. Se considerarán entonces las siguientes condiciones (ver figura 4.2 en anexo III):



### **c.1. Esfuerzos de compresión**

En el concreto, los esfuerzos de compresión serán soportados idealmente en forma lineal. Las tensiones de compresión aumentan en forma lineal desde cero, en el eje neutro de la sección transformada, hasta un máximo valor admisible de  $0.45f_c$  en la fibra extrema de compresión, en nuestro caso en la fibra superior de la losa. Las fuerzas de compresión tendrán una resultante en el centroide del diagrama de esfuerzos (Ascencio, 2006, pág. 47; Ortega, 2014, pág. 53).

### **c.2. Esfuerzos de tracción**

Los esfuerzos de tracción serán soportados solo por la sección de acero, en el centroide del área en tracción se situará una fuerza resultante que resume los esfuerzos del acero para efectos de simplificar el análisis (Ascencio, 2006, pág. 47; Ramos, 2002, pág. 36; Bilbao, 2004, pág. 29).

### **c.3. Conexión**

El concreto y el acero presentan una adherencia natural intrínseca muy difícil de determinar con precisión, por esto esta adherencia no se considerará en el diseño de los elementos de conexión. De este modo se dispondrán elementos de conexión para generar la futura interacción de ambos materiales (Ascencio, 2006, pág. 47; Ramos, 2002, pág. 42; Bilbao, 2004, 75-77).

### **c.4. Momento nominal:**

El momento nominal de la sección compuesta se calcula considerando los momentos ocasionados por las fuerzas resultantes de los diagramas de esfuerzo resistente admisibles (Ascencio, 2006, pág. 48; Ortega, 2014, pág. 53).

## **4.5. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE LOSA CON MÉTODOS TRADICIONALES**

Para el diseño y análisis de ambos sistemas de losas se utilizarán los métodos convencionales de vigas y losas. Primero se realizará el diseño y análisis de las losas por el método elástico; y luego se procederá utilizando el método de la rotura.

Finalmente se compararan los resultados obtenidos y se determinará que sistema es más adecuado, esto orientado hacia la construcción de viviendas económicas.

#### **4.6. MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE LOSAS CON SOFTWARE**

El modelamiento de un problema estructural ha llegado a ser una práctica muy común en ingeniería y motivo de estudio de numerosas investigaciones, se han realizado modelos teóricos que representan más fielmente el comportamiento de un sistema estructural mediante esta práctica. Si se consideran adecuadamente las propiedades de los materiales, las geometrías de los elementos, las condiciones de frontera y las cargas a aplicar en el sistema estructural, se podrán obtener resultados satisfactorios del comportamiento estructural.

El modelamiento de secciones compuestas puede resultar útil en la determinación de los parámetros críticos de diseño. Para diferentes condiciones de carga será posible predecir las posibles fallas y/o debilidades del sistema compuesto, siendo así, una herramienta de análisis poderosa al momento de diseñar un determinado elemento estructural de características colaborantes (Ascencio, 2006, pág. 72).

##### **4.6.1. Análisis Asistido por Computadora**

El análisis de estructuras mediante software computacionales es una práctica que cada vez se hace más común y confiable, sobre todo por su alta capacidad de procesar datos u operaciones complejas, en un tiempo muy reducido. Para el análisis de las losas aligerada y colaborante estudiadas en esta Tesis, se usó el software de análisis estructural llamado SAP2000 v15.0.0. Este software es capaz de generar elementos de tipo shell, sólidos, frame entre otros.

##### **4.6.2. Descripción de los Modelos**

En el caso de la lámina colaborante se utilizan elementos tipo “solid” para modelar el concreto, ya que su aporte en volumen dentro de la sección compuesta es bastante considerable, y elementos tipo “shell” (debido a su espesor) para modelar la lámina de acero, en el caso de la losa aligerada se utilizaron elementos tipo frame. Para definir estos elementos se usó un modelo construido en AutoCAD, este modelo se

compone solo de líneas que definen las geometrías generales del elemento. SAP2000 incorpora un comando de extrusión, que simplifica la creación de los elementos tipo “solid” y de tipo “shell”, ya que es posible generar un plano a partir de una línea recta, y generar un sólido a partir de un plano.

Los elementos sólidos no corresponderán a un paralelepípedo siempre, ya que en su mayoría están formados por prismas rectos de base trapezoidal. En las siguientes figuras se muestra de manera general, el modelo completo tanto para la losa colaborante con el perfil AD-600 y para la losa aligerada. Las figuras 4.3, 4.4, 4.5 (ver anexos) muestran la idealización de los modelos.

## **CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS PARA LOSAS COLABORANTES**

### **5.1. SEGURIDAD EN EL MANEJO DE LAS LÁMINAS DE ACERO**

- ✓ Las superficies de las láminas de acero deck se vuelven resbalosas cuando se encuentran húmedas y deben tomarse las precauciones necesarias cuando esto ocurra para evitar accidentes de trabajo.
- ✓ Se debe estar alerta de los bordes afilados de las láminas y de aberturas como ductos.
- ✓ Los cortes y aberturas de tragaluz o ductos en la losa deben estar adecuadamente protegidos, asegurados y señalizados por ejemplo con cintas de seguridad (ver figura 5.1 en el anexo III y anexo VIII).
- ✓ Cualquier grupo de trabajo debe mantenerse por fuera de la plataforma de trabajo y del área inmediatamente por debajo de la plataforma de trabajo durante todo el proceso de montaje.

### **5.2. SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE LÁMINAS DE ACERO**

- ✓ Todas las láminas de acero deck deben tener la longitud de apoyo suficiente y el anclaje necesario para garantizar su estabilidad con el fin de conformar una plataforma segura de trabajo durante la construcción. Se recomienda que dicha longitud de apoyo y anclaje sea mínimo de 4 cm (ver anexo VIII).
- ✓ Todas las áreas que vayan a estar sometidas a tráfico pesado o repetido, cargas concentradas importantes, cargas de impacto, cargas de ruedas o similares, deben protegerse de manera adecuada mediante entablado o cualquier otro método aprobado para evitar sobrecarga y/o daño (ver figura 5.2 en el anexo III).
- ✓ Todas las láminas dañadas que tengan estén dañadas o deformadas por prácticas constructivas deben repararse o reemplazarse.
- ✓ La colocación de las láminas se hacen una a continuación de la otra a través de alambre recocido o punzonamiento con una pinza. Durante este proceso habrá un borde que está libre, este borde solo debe utilizarse para la colocación de la siguiente lámina (ver anexo VIII).

- ✓ Se debe mantener el alineamiento de los nervios o pliegues a lo largo de la estructura, por ello deben utilizarse láminas del mismo ancho efectivo para lograr trayectos rectos y largos de tablero, y estos deben ajustarse adecuadamente a medida que se van colocando.
- ✓ El alineamiento de los nervios debe ser paralelo a las vigas secundarias. Se pueden utilizar líneas marcadas con tiza o similar para ubicar en forma precisa las estructuras de soporte.
- ✓ Errores acumulados en el ancho de cubrimiento de las láminas a lo largo de una dirección específica no pueden corregirse con las últimas láminas del tramo.
- ✓ Las placas se fijaran mediante conectores de corte o tornillos autoperforantes, esta fijación se realizará en todos los puntos de apoyo, teniendo como mínimo un punto de fijación cada tres valles (ver anexo VIII).
- ✓ El anclaje en las vigas a través de conectores de corte o pernos de anclaje debe hacerse como mínimo con un punto de fijación cada tres valles.
- ✓ Estos esfuerzos mínimos de colocación y fijación de las placas colaborantes eliminan la necesidad de correcciones complicadas en el sitio de instalación.
- ✓ Utilizar protección visual cuando esté cerca de trabajos de corte y soldadura, y se recomienda utilizar gafas de sol y protección contra quemaduras de sol en días muy soleados.

### **5.3. SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE DUCTOS Y ABERTURAS**

- ✓ En las tuberías de desagüe se debe tener en cuenta la pendiente, por lo que se recomienda en general que se instalen por debajo de la losa colaborante (ver figura 5.3 en el anexo III).
- ✓ Las conexiones eléctricas se recomiendan instalar en los valles o se pueden instalar por fuera sujetándolas mediante tornillos y soportes.

### **5.4. MANEJO Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO**

#### **5.4.1. Limpieza del Tablero**

- Los residuos de elementos y los desperdicios de las láminas deben recogerse y retirarse de la plataforma de trabajo todos los días para no generar riesgos

innecesarios, es decir, siempre se debe mantener limpio el sitio de trabajo (ver figura 5.4 en el anexo III).

- No deben dejarse tiradas herramientas sueltas y los residuos del proceso de soldadura de los conectores de corte deben separarse del perno mismo y todos los residuos deben retirarse de la plataforma antes de la colocación del concreto.
- Todos los materiales combustibles y la basura que pueda generar riesgos de incendio deben ser retirados.

#### **5.4.2. Vaciado del Concreto**

- Antes del vaciado del concreto, el constructor debe estar seguro que toda la plataforma está completa, adecuadamente sujeta y que existe el soporte necesario en todos los bordes.
- Todo el refuerzo (los alambres y las barras) debe estar asegurado adecuadamente en su sitio y también se debe verificar que todos los soportes estén ajustados adecuadamente. Ya que podrían ocasionarse daños en el tablero producidos por el manejo del refuerzo o por una colocación poco cuidadosa.
- El concreto debe vaciarse desde un nivel bajo de altura para evitar el impacto sobre las láminas, debe colocarse de manera uniforme sobre la estructura de soporte y debe espaciarse hacia el centro de la luz.
- El concreto debe colocarse en una dirección tal que el peso se aplique primero sobre las láminas superiores en el traslape de borde, disminuyendo así las posibilidades de una separación de los bordes de las láminas adyacentes durante el vaciado.
- Si se utiliza carretilla para la colocación del concreto deben utilizarse entablados sobre los cuales se concentrará todo el tráfico. No debe permitirse por ningún motivo el tránsito de carretilla o elementos pesados sobre la lámina misma de acero sin la colocación previa de entablados adecuados.
- Aunque los anclajes y conexiones de las láminas son importantes en todas las condiciones de luces, éstas resultan de vital importancia en luces simples. Por lo tanto los anclajes y conexiones deben revisarse cuidadosamente en estos casos.

- El recubrimiento mínimo del concreto se mide por encima de la cresta de la lámina y debe ser de 5 cm como mínimo.
- Cuando se coloca acero de refuerzo negativo, el recubrimiento mínimo por encima de este debe ser como mínimo de 2cm.
- No debe permitirse la agrupación de trabajadores alrededor de la zona de colocación del concreto
- Para las consideraciones constructivas adicionales, referente a la losa de concreto reforzado tales como compactación, curado, colocación y sujeción del refuerzo, etc., deberá seguirse los requisitos y recomendaciones dados por la norma NTE-E.060.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- 1) Es posible establecer que para la misma sobrecarga, el sistema estructural de losa colaborante con AD-600 tiene una mayor resistencia a flexión que lo que resiste una losa aligerada:  $2145.89 \text{ Kg-m} > 735.18 \text{ Kg-m}$ .
- 2) Para la misma sobrecarga, el sistema estructural de losa colaborante con AD-600 tiene una mayor resistencia a esfuerzos de corte que los que resiste una losa aligerada:  $5299.41 \text{ Kg} > 913.97 \text{ Kg}$ .
- 3) Utilizando la teoría convencional de losas y vigas, se puede denotar que la losa colaborante presenta menores deflexiones comparándolas con la losa aligerada:  $1.16 \text{ cm} < 2.70 \text{ cm}$ .
- 4) Luego de la evaluación del modelamiento en SAP2000, donde se realizó el aumento paulatino de la carga viva, es posible observar la variación que presentan las deformaciones. Donde se puede observar que para la carga viva final se tiene un valor menor de deformación comparando la losa colaborante con la losa aligerada:  $2.425 \text{ mm} > 11.080 \text{ mm}$

| Deflexiones en SAP2000 (mm)                 |                          |                  |
|---|--------------------------|------------------|
| $\Delta$ Carga Viva<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | Losa Aligerada<br>(17cm) | Losa Colaborante |
| 0   | 10.081                   | 1.293            |
| 50  | 10.330                   | 1.576            |
| 100   | 10.580                   | 1.859            |
| 150   | 10.829                   | 2.142            |
| 200   | 11.080                   | 2.425            |

- 5) El sistema compuesto con láminas colaborantes en comparación con la losa aligerada presenta un aumento en la cantidad de concreto teniendo los siguientes



valores respectivamente:  $0.0933 \text{ m}^3/\text{m}^2 > 0.080 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , pero evita el uso de recursos y tiempo en la tarea de encofrado y desencofrado.

- 6) El costo por  $\text{m}^2$  de una losa aligerada es de S/. 171.03 y el de la losa colaborante con lámina AD-600 es de S/. 147.43, donde es posible visualizar una disminución en el costo/ $\text{m}^2$  de S/. 23.60 que representa un 5.88% entre ambos sistemas. Esta disminución se debe a la variación en los rendimientos e insumos que se han considerado en el análisis de costos unitarios.
- 7) El peso de una losa aligerada es de  $280 \text{ Kg}/\text{m}^2$  y el de una losa colaborantes de  $232.32 \text{ Kg}/\text{m}^2$  teniendo en cuenta que se tratará de una vivienda y con una misma luz a cubrir. Entonces se observa que el peso del sistema de losa colaborante es 17.07% menor que el sistema de losa aligerada.
- 8) Se debe tener en cuenta que el peso en una edificación influye en las dimensiones y diseño de otros elementos estructurales como vigas, columnas y en la cimentación, lo que es beneficioso para disminuir las dimensiones y se generaría así un ahorro económico.
- 9) Este sistema es ideal cuando se maneja una gran área para techar con luces uniformes y no muy espaciadas entre apoyos, y se debe tener en cuenta que las sobrecargas admisibles para el sistema de losa colaborante pueden aumentar si se disminuye la luz libre.
- 10) En la presente tesis se ha demostrado que es posible diseñar y proyectar mediante un método sencillo de diseño estructural una losa colaborante con refuerzo de tensión materializado en una lámina AD-600 y las aplicaciones en las cuales puede ser usada apuntan a un diseño donde una losa aligerada convencional o una losa maciza son sobre dimensionadas.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

### **6.2.1. Recomendaciones Generales**

- 1) Se debe innovar y propiciar el uso de los nuevos sistemas de construcción, como el sistema de entrepiso con losa colaborante, para lograr una mejor calidad de obra y demanda de los mismos, lo que implicará una reducción en los costos frente a los métodos tradicionales.
- 2) Se debe buscar la colaboración de la inversión privada o pública para realizar el estudio de sistemas constructivos no tradicionales, como el realizado en esta tesis, que puedan utilizarse y que sean más eficientes estructural y económicamente.
- 3) En un proyecto dado no se puede cambiar entre las dos filosofías de diseño. Se debe utilizar bien el método elástico o el método de resistencia última, todo esto siguiendo los parámetros de las normas N.T.E. – E.020, N.T.E. – E.060, N.T.E. – E.090.

### **6.2.2. Recomendaciones Específicas**

- 1) Cuando se use placas colaborantes en los sistemas de losas de entrepiso, debe tenerse en cuenta que estas pueden tener una mejor eficiencia si se complementan adecuadamente con concretos especiales (concretos con aditivos), ya que se podría disminuir su dimensión sin alterar su comportamiento estructural.
- 2) El comportamiento de las losas mixtas hoy en día no está completamente comprendido. Por ello es conveniente realizar ensayos y estudios que permitan profundizar nuestro conocimiento.
- 3) Al momento de elegir un sistema de entrepiso se debe tener en cuenta la influencia del factor económico y también debemos considerar aspectos como el comportamiento estructural, la facilidad de manejo de los insumos, los acabados, la cantidad de materiales a manejar en obra, la seguridad y los desperdicios de materiales.

## CAPÍTULO VII: REFERENCIAS

### 7.1. LIBROS

- American Concrete Institute. 2011. Código de Diseño de Concreto Armado ACI 318-2011.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. 2013. NTE-E0.20, NTE-E0.60. Lima-Perú. Grupo Editorial MEGABYTE.
- Johnston, Bruce. 1986. Diseño Básico de Estructuras. Tercera Edición. México. Prentice Hall Hispanoamérica.
- Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. Tópicos de Tecnología del Concreto. Primera Edición. Lima-Perú. Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Nacional.
- Samuel Easterling & Craig Young. 1992. Journal of Structural Engineering – ASCE. Primera Edición. Estados Unidos. © ASCE.
- Bowles, J. 1994. Diseño de Acero Estructural. Cuarta Edición. México D.F. EDITORIAL LIMUSA.
- Park & Paulay. 1994. Estructuras de Concreto Reforzado. Séptima Edición. México D.F. EDITORIAL LIMUSA.
- McComarc, Jack. 1996. Diseño de Estructuras de Concreto y Acero. Segunda Edición. Grupo Editor Alfaomega.
- Harmsen, T. 2005. Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Cuarta Edición. Lima-Perú. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Perles, P. 2006. Hormigón Armado. Primera Edición. Buenos Aires- Argentina. Editorial Nobuko.
- Blanco Blasco, A. 2011. Estructuración y Diseño de Estructuras de Concreto. Segunda Edición. Lima-Perú. PRINCE LINESS.

- Abanto Castillo, F. 2012. Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería. Lima-Perú. Tercera Edición. Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Llopiz, R. 2012. Diseño y Análisis de Losas de Hormigón – Losas Compuestas. Primera Edición. Argentina. Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Zapata Baglieto, L. 2013. Diseño Estructural en Acero. Lima-Perú.
- Ortega García, J. 2014. Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Primer Edición. Lima-Perú. Editorial Macro.

## 7.2. TESIS

- Ramos Rugel, M. 2002. Análisis Técnico y Económico de losas de Entrepiso/. Tesis de pregrado Ing. Civil. Piura, PE. Universidad de Piura. 138 pág.
- Bilbao Torres, E. 2004. Estudio de Losas Mixtas de Acero y Concreto en sus Condiciones de Servicio y Estados Límites de Resistencia. Tesis de pregrado Ing. Civil. Caracas, VEN. Universidad Central de Venezuela. 195 pág.
- Ascencio Arangua, J. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales de Hormigón Usando Planchas Zincoalum. Tesis de pregrado Ing. Civil. Valdivia, CHI. Universidad Austral de Chile. 110 pág.
- Garino, Patricia. 2010. Estructuras Mixtas de Acero y Hormigón – Losas Mixtas Conformadas por Placas de Acero Colaborante con Vigas Compuestas. Tesis de pregrado Ing. Civil. Uruguay, URU. Universidad de la República de Uruguay. 61 pág.
- Villavicencio Fernández, Paúl A. 2012. Análisis Comparativo de Costos y Eficiencia de Edificios en Diferentes Materiales de Acuerdo a las Variables: Número de Pisos y Luces entre Columnas. Tesis de pregrado Ing. Civil. Cuenca, ECU. Universidad de Cuenca. 198 pág.

### 7.3. MANUALES Y MANUSCRITOS

- ✓ Mosqueira Moreno, M. 2012. Apuntes de Clase de Concreto Armado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú.
- ✓ Aceros Procesados S.A. – Departamento de Ingeniería e Investigación. 2013. Manual Técnico de Sistema Constructivo Acero-Deck. Lima-Perú. 60 pág.
- ✓ Aceros Procesados S.A. – Departamento de Ingeniería e Investigación. 2013. Catálogo Técnico para Placa Colaborante AD-600. Lima-Perú. 3 pág.

### 7.4. PÁGINAS DE INTERNET

- ❖ Estructuras Metálicas. Consultado el 15 de agosto. 2014. Disponible en:  
[http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras\\_Met%C3%A1licas](http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras_Met%C3%A1licas)
- ❖ Esfuerzo de Fluencia del Acero. Consultado el 15 de agosto. 2014. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>
- ❖ Forjado Colaborante. Consultado el 18 de agosto. 2014. Disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Forjado\\_colaborante](http://es.wikipedia.org/wiki/Forjado_colaborante)
- ❖ Placas Colaborantes: Nueva Forma de Construir Losas. Consultado el 19 de agosto. 2014. Disponible en:  
<http://arqzine.com/mag/tecnologias-y-materiales/placas-colaborantes-nueva-forma-de-construir-losas/>
- ❖ Análisis y Diseño de Losas Compuestas. Consultado el 30 de septiembre. 2014. Disponible en:  
<http://es.scribd.com/doc/36467056/4-Analysis-And-Design-of-Steel-Deck-Concrete-Composite-Slabs>

## CAPÍTULO VIII: ÁNEXOS

### 8.1. ANEXOS I: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSAS.

#### 8.1.1. DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOSA ALIGERADA CON TEORÍAS CONVENCIONALES DE VIGAS

##### 8.1.1.1. Diseño y Análisis por Flexión – Método Elástico

A continuación se detallan los parámetros de cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos para el diseño por el método elástico.

##### a) Diseño de Losa Aligerada

###### a.1. Características de la Losa:

- 1) Tipo de uso: Vivienda.
- 2) Tipo de apoyo: Simplemente apoyado.
- 3) Se utilizará  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

###### a.2. Predimensionamiento:

- 1) Longitud de la losa: 3.50 m
- 2)  $e1 = 3.50/25 = 14 \text{ cm}$
- 3)  $e2 = 3.50/20 = 17.50 \text{ cm}$
- 4)  $e_f = 17 \text{ cm}$
- 5) Se utilizará ladrillos de 30 cm de ancho y 12 cm de alto.

###### a.3. Cargas Muertas:

- 1) Peso propio de la losa:  $280 \text{ Kg/m}^2$
- 2) Carga muerta total (DL):  $280 \text{ Kg/m}^2$

###### a.4. Cargas Vivas:

Sobrecarga de uso (LL):  $200 \text{ Kg/m}^2$

###### a.5. Combinación de Cargas:

$$DL + LL = 280 \text{ Kg/m}^2 + 200 \text{ Kg/m}^2 = 480 \text{ Kg/m}^2$$

**a.6. Carga Repartida por Vigueta:**

$$w = 480 \text{ Kg/m}^2 / 2.5 = 192 \text{ Kg/m}$$

**a.7. Momento Máximo:**

- 1) En el centro de la luz:

$$M_u = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_u = \frac{192 * 3.50^2}{8}$$

$$M_u = 294 \text{ Kg-m}$$

- 2) En los apoyos:

$$M_u = \frac{wL^2}{24}$$

$$M_u = \frac{192 * 3.50^2}{24}$$

$$M_u = 98 \text{ Kg-m}$$

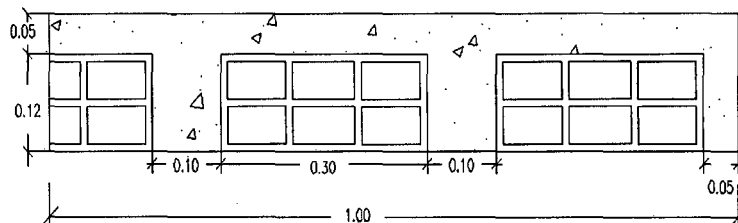
**a.8. Corte Vertical:**

$$V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{192 * 3.50}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = 336 \text{ Kg}$$

**a.9. Diseño de la Losa:**



- 1) Altura de losa aligerada: 17 cm

- 2) Espesor de losa: 5 cm

- 3) Peralte efectivo:  $d = 17 - 3 = 14$  cm

- 4) Cálculo de relación modular:

$$n = E_s / E_c = 21000 / 2173.7065 = 9.66$$

5) Cálculo del factor de profundidad e la fibra neutra:

$$k = \frac{nfc}{nfc + fs}$$

$$fc = 0.45f'c = 0.45 \times 210 \text{ Kg/cm}^2 = 94.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fs = 1700 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (para } fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2)$$

$$k = \frac{9.66 \times 94.5}{9.66 \times 94.5 + 1700}$$

$$k = 0.349$$

6) Cálculo de j:

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.349/3 = 0.884$$

7) Cálculo del área de acero:

✓ Para momento en el centro de la luz:

$$As = \frac{Mu}{fsxjxd}$$

$$As = \frac{294 \times 100}{1700 \times 0.884 \times 14}$$

$$As = 1.40 \text{ cm}^2$$

✓ Para momento en los apoyos:

$$As = \frac{Mu}{fsxjxd}$$

$$As = \frac{98 \times 100}{1700 \times 0.884 \times 14}$$

$$As = 0.47 \text{ cm}^2$$

8) Cálculo de acero de retracción y temperatura:

$$As = 0.0018 * e_l * 1ml$$

$$As = 0.0018 * 5 * 100 = 0.90 \text{ cm}^2$$

✓ Utilizando  $\phi = N^\circ 6$ , el espaciamiento será:

$$S = 0.32 * 100 / 0.90 = 35.55 \text{ cm}$$

✓ Pero:  $S \leq 5e_l$  ; ó  $S \leq 40 \text{ cm}$

$$S \leq 5 * 5 ; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

$$S \leq 25 \text{ cm} ; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$



✓ Se toma el valor menor: 1  $\phi$  N° 6 @ 25 cm

## b) Análisis de la Losa Aligerada

### 1. Cálculo de relación modular:

$$n = E_s/E_c = 2\,100\,000/217\,370.65 = 9.66$$

### 2. Área de acero:

✓ En el centro de la luz:

$$A_s = 1.40 \text{ cm}^2 \equiv 2\phi \text{ 3/8"} \equiv 1.42 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 1.42 \text{ cm}^2$$

✓ En los apoyos:

$$A_s = 0.47 \text{ cm}^2 \equiv 1\phi \text{ 3/8"} \equiv 0.71 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.71 \text{ cm}^2$$

### 3. Cuantía:

✓ En el centro de la luz:

$$\rho = A_s/(b*d)$$

$$\rho = 1.42/(40*14) = 0.00254$$

✓ En los apoyos:

$$\rho = A_s/(b*d)$$

$$\rho = 0.47/(40*14) = 0.00336$$

### 4. Cuantía máxima:

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 210 \times 0.85 \times 6300}{4200 \times (6300 + 4200)} = 0.02168$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \times 0.02168 = 0.01626$$

### 5. Cuantía mínima:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{210}}{4200}$$

$$\rho_{\text{mín}} = 0.00242$$

6. Comparando cuantías:

$$p_{\min} < \rho < p_{\max}$$

✓ En el centro de la luz:

$$0.01626 > 0.00254 \dots \text{OK}$$

$$0.00254 > 0.00242 \dots \text{OK}$$

✓ En los apoyos:

$$0.01626 > 0.00336 \dots \text{OK}$$

$$0.00336 > 0.00242 \dots \text{OK}$$

7. Cálculo del factor de profundidad e la fibra neutra:

$$k = \sqrt{(np)^2 + 2np} - np$$

$$k = \sqrt{(9.66 \times 0.00254)^2 + 2 \times 9.66 \times 0.00355} - 9.66 \times 0.00355$$

$$k = 0.198$$

8. Cálculo del valor j:

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.198/3$$

$$j = 0.934$$

9. Esfuerzo permisible en el concreto:

$$f_c = \frac{2M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2}$$

$$f_c = \frac{2 \cdot 294}{0.230 \times 0.934 \times 40 \times 14^2}$$

$$f_c = 40.52 \text{ Kg/cm}^2$$

10. Esfuerzo permisible en el acero:

$$f_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

$$f_s = \frac{294}{1.42 \times 0.934 \times 14}$$

$$f_s = 1583.38 \text{ Kg/cm}^2$$

Estos esfuerzos, son menores a los esfuerzos admisibles para ambos materiales, llegando a una relación de esfuerzos de un 93.14% para el caso del acero y de

42.88% para el concreto, aproximadamente de su capacidad admisible. Esto, si se cumplieran las condiciones de carga impuestas y las disposiciones geométricas consideradas en la obtención de dichos esfuerzos.

### **8.1.1.2. Diseño y Análisis por Flexión – Método Plástico**

A continuación se detallan los parámetros de cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos para el diseño por el método elástico.

#### **a) Diseño de Losa Aligerada**

##### **a.1. Características de la Losa:**

- 1) Tipo de uso: Vivienda.
- 2) Tipo de apoyo: Simplemente apoyado.
- 3) Se utilizará  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

##### **a.2. Predimensionamiento:**

- 1) Longitud de la losa: 3.50 m
- 2)  $e_1 = 3.50/25 = 14 \text{ cm}$
- 3)  $e_2 = 3.50/20 = 17.50 \text{ cm}$
- 4)  $e_f = 17 \text{ cm}$
- 5) Se utilizará ladrillos de 30 cm ancho y 12 cm de alto.

##### **a.3. Cargas Muertas:**

- 1) Peso propio de la losa:  $280 \text{ Kg/m}^2$
- 2) Carga muerta total (DL):  $280 \text{ Kg/m}^2$

##### **a.4. Cargas Vivas:**

Sobrecarga de uso (LL):  $200 \text{ Kg/m}^2$

##### **a.5. Combinación de Cargas:**

$$1.4DL + 1.7LL = 1.4 \times 280 \text{ Kg/m}^2 + 1.7 \times 200 \text{ Kg/m}^2 = 732 \text{ Kg/m}^2$$

##### **a.6. Carga Repartida por Vigueta:**

$$w = 732 \text{ Kg/m}^2 / 2.5 = 292.80 \text{ Kg/m}$$

**a.7. Momento Máximo:**

- 1) En el centro de la luz:

$$M_u = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_u = \frac{292.80 * 3.50^2}{8}$$

$$M_u = 448.35 \text{ Kg-m}$$

- 2) En los apoyos:

$$M_u = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_u = \frac{292.80 * 3.50^2}{24}$$

$$M_u = 149.45 \text{ Kg-m}$$

**a.8. Corte Vertical:**

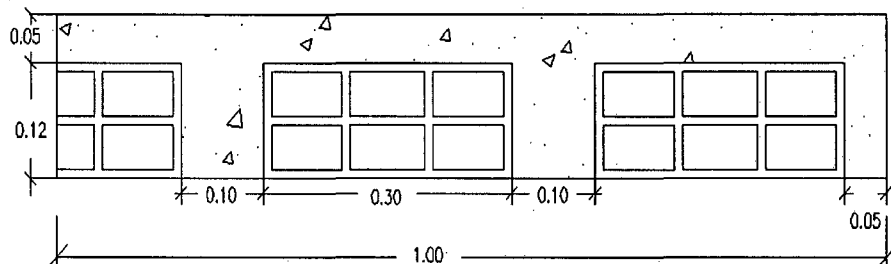
$$V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{292.80 * 3.50}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = 512.40 \text{ Kg}$$

**a.9. Diseño de la Losa:**

Se utilizará para el diseño el método de la fórmula general.



- 1) Altura de losa aligerada: 17cm
- 2) Espesor de losa: 5 cm
- 3) Peralte efectivo:  $d = 17 - 3 = 14 \text{ cm}$
- 4) Calculando si los esfuerzos de compresión son menores que el espesor de la losa:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{hf}{2} \right)} = \frac{448.35 \times 1000}{0.9 \times 4200 \times \left( 14 - \frac{5}{2} \right)} = 1.03 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{448.35 \cdot 100}{0.85 \cdot 210 \cdot 40} = 0.61 \text{ cm}$$

$a = 0.61 \text{ cm} < e_1 = 5 \text{ cm}$ , entonces es una viga rectangular de ancho  $b$ .

5) Cálculo de relación modular:

$$n = E_s/E_c = 2\,100\,000/217\,370.65 = 9.66$$

6) Cálculo del índice de refuerzo:

✓ En el centro de la luz:

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7Mu}{\phi f'_c \cdot b \cdot d^2}}$$

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7 \cdot 448.35 \cdot 100}{0.9 \cdot 210 \cdot 40 \cdot 14^2}}$$

$$w = 0.03082$$

✓ En los apoyos:

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7Mu}{\phi f'_c \cdot b \cdot d^2}}$$

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7 \cdot 149.45 \cdot 100}{0.9 \cdot 210 \cdot 10 \cdot 14^2}}$$

$$w = 0.01015$$

7) Cálculo de cuantía:

✓ En el centro de la luz:

$$\rho = \frac{w \cdot f'_c}{f_y} = \frac{0.03082 \cdot 210}{4200}$$

$$\rho = 0.00154$$

✓ En los apoyos:

$$\rho = \frac{w \cdot f'_c}{f_y} = \frac{0.01015 \cdot 210}{4200}$$

$$\rho = 0.00051$$

8) Cálculo de cuantía máxima:

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 210 \times 0.85 \times 6300}{4200 \times (6300 + 4200)} = 0.02168$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \times 0.02168 = 0.01626$$

9) Cálculo de cuantía mínima:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{210}}{4200}$$

$$\rho_{\text{mín}} = 0.00242$$

10) Comparando cuantías:

$$\rho_{\text{mín}} < \rho < \rho_{\text{máx}}$$

✓ En el centro de la luz:

$$0.01626 > 0.00154 \quad \dots \text{OK}$$

$$0.00242 > 0.00154 \quad \dots \text{ERROR}$$

Por lo que se tomará la cuantía mínima para los cálculos:

$$\rho = 0.00242$$

✓ En los apoyos:

$$0.01626 > 0.00051 \quad \dots \text{OK}$$

$$0.00242 > 0.00051 \quad \dots \text{ERROR}$$

Por lo que se tomará la cuantía mínima para los cálculos:

$$\rho = 0.00242$$

11) Cálculo del área de acero:

✓ En el centro de la luz:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.00242 \times 40 \times 14 = 1.353 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 1.353 \text{ cm}^2 \equiv 2\phi 3/8''$$

$$A_s = 1.42 \text{ cm}^2$$

✓ En los apoyos:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.00242 \times 10 \times 14 = 0.34 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.71 \text{ cm}^2 \equiv 1\phi 3/8''$$

12) Cálculo de acero de retracción y temperatura:

$$A_s = 0.0018 \cdot e_l \cdot 1 \text{ ml}$$

$$A_s = 0.0018 \cdot 5 \cdot 100 = 0.90 \text{ cm}^2$$

✓ Utilizando  $\phi = N^\circ 6$ , el espaciamiento será:

$$S = 0.32 \cdot 100 / 0.90 = 35.55 \text{ cm}$$

✓ Pero:  $S \leq 5e_l$  ; ó  $S \leq 40 \text{ cm}$

$$S \leq 5 \cdot 5$$

$$; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

$$S \leq 25 \text{ cm}$$

$$; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

✓ Se toma el valor menor:  $1 \phi N^\circ 6 @ 25 \text{ cm}$

## b) Análisis de la Losa Aligerada

1. Cálculo de relación modular:

$$n = E_s / E_c = 2100000 / 217370.65 = 9.66$$

2. Área de acero:

$$A_s = 1.42 \text{ cm}^2$$

3. Cuantía:

✓ En el centro de la luz:

$$\rho = A_s / (b \cdot d)$$

$$\rho = 1.42 / (40 \cdot 14) = 0.00254$$

✓ En el apoyo:

$$\rho = A_s / (b \cdot d)$$

$$\rho = 0.71 / (10 \cdot 14) = 0.00507$$

4. Cuantía máxima:

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 210 \times 0.85 \times 6300}{4200 \times (6300 + 4200)} = 0.02168$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \times 0.02168 = 0.01626$$

5. Cuantía mínima:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{210}}{4200}$$

$$\rho_{\text{mín}} = 0.00242$$

6. Comparando cuantías:

$$\rho_{\text{mín}} < \rho < \rho_{\text{máx}}$$

✓ En el centro de la luz:

$$0.01626 > 0.0025 \quad \dots \text{OK}$$

$$0.00254 > 0.00242 \quad \dots \text{OK}$$

✓ En el apoyo:

$$0.01626 > 0.00507 \quad \dots \text{OK}$$

$$0.00507 > 0.00242 \quad \dots \text{OK}$$

7. Cálculo del momento nominal resistente:

$$M_n = 0.85 f'_c a_x b_x (d - a/2), \text{ donde:}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{1.42 \times 4200}{0.85 \times 210 \times 40} = 0.84 \text{ cm}$$

$$M_n = 0.85 \times 210 \times 0.84 \times 40 \times (14 - 0.84/2) = 816.87 \text{ Kg-m}$$

8. Momento último resultante:

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_u = 0.90 \times 816.87 = 735.18 \text{ Kg-m}$$

$$M_u = 735.18 \text{ Kg-m} > 448.35 \text{ Kg-m} \quad \dots \text{OK}$$



De acuerdo a la capacidad resistente de la sección compuesta, analizada para la fluencia del concreto y el acero, es posible evidenciar un amplio margen entre los esfuerzos resistentes y los esfuerzos solicitantes.

### 8.1.1.3. Análisis Estructural por Corte Vertical

El diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde  $V_u$  es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y  $V_n$  es la resistencia nominal al cortante calculado mediante:

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde  $V_c$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto y  $V_s$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por la lámina de acero.

1. El esfuerzo cortante resistido por el concreto para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión según la norma E-0.30 es:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_w d$$

$$V_c = 0.53\sqrt{210} \times 10 \times 14$$

$$V_c = 1075.26 \text{ Kg}$$

2. Entonces la resistencia total de la sección compuesta será:

$$\phi V_n = 0.85 \times 1075.26 \text{ Kg} = 913.97 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 913.97 \text{ Kg} > 512.40 \text{ Kg} = V_u \quad \dots \text{ OK}$$

Se observa entonces que la resistencia al cortante vertical es mayor que la resistencia requerida.

### 8.1.1.4. Estimación de Deflexiones

Para el cálculo de deflexiones debido a cargas se podrán calcular teniendo en cuenta el comportamiento de una viga simplemente apoyada, soportando una carga uniformemente distribuida en su cara superior. Para este modelo la deformación máxima inmediata, debido a cargas propias más mas cargas vivas, ocurrida en el centro de la losa puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta'_{st} = \frac{5WL^4}{384 \cdot E_c \cdot I_e}$$

Para estimar las deformaciones diferidas o deflexiones a largo plazo, según la norma peruana:

$$\Delta_{LT} = \lambda \cdot \Delta'_{st}$$

Donde:

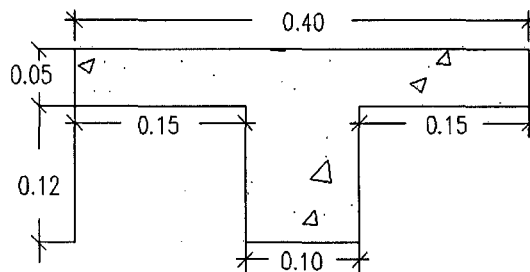
W: Carga viva más carga muerta.

L: Luz libre de la losa.

Ie: Inercia efectiva (según la norma Ie puede tomarse como Ig, siempre y cuando Mu por cargas de servicio sea mayor que el Mcr).

### a) Cálculos de la deflexión instantánea

1. Se tiene la vigueta de dimensiones:



2. Cálculo de Yt: Considerando el nivel de referencia la parte baja de la vigueta.

$$Y_t = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} = \frac{(12 \times 10)(6) + (40 \times 5)(14.5)}{(12 \times 10) + (40 \times 5)} = 11.41 \text{ cm}$$

3. Cálculo del momento Ig:

$$I_g = I_1 + n^2 A + I_2$$

$$I_g = \frac{10 \times 12^3}{12} + (11.41 - 6)^2 \times 10 \times 12 + \frac{40 \times 5^3}{12} + (3.19)^2 \times 40 \times 5 + 1.42 \times (9.66 - 1) \times (14 - 11.41)^2$$

$$I_g = 7357.91 \text{ cm}^4$$

4. Resistencia del concreto a tracción por flexión:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} = 2\sqrt{210} = 28.98 \text{ Kg/cm}^2$$

5. Cálculo del momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t} = \frac{28.98 \times 7357.91}{11.31} = 152.58 \text{ Kg} - \text{m}$$

6. Comparando el momento de agrietamiento con el momento de servicio:

$$M_u = 294 \text{ Kg-m} > 186.42 \text{ Kg-m} = M_{cr}$$

Entonces no se puede asumir  $I_e = I_g$ , por lo que se tendrá que calcular el valor de  $I_e$ .

7. Calculando el valor de  $I_e$ :

✓  $M_s = 294 \text{ Kg-m}$

✓  $M_{cr} = 186.42 \text{ Kg-m}$

✓  $n = 9.66$

✓  $\rho = 0.00254$

✓  $k = 0.198$

✓  $b = 40 \text{ cm}$

✓  $d = 14 \text{ cm}$

✓  $c$ : Distancia del eje neutro a la fibra extrema en compresión bajo consideraciones elásticas

$$c = \{[(np)^2 + 2np]^{0.5} - np\}d$$

$$c = \{[(9.66 \times 0.00254)^2 + 2 \times 9.66 \times 0.00254]^{0.5} - 9.66 \times 0.00254\}14$$

$$c = 2.77 \text{ cm}$$

✓ Momento de la sección fisurada ( $I_{cr}$ ):

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + nAs(d - c)^2 + (n - 1)A's(c - d')^2$$

$$I_{cr} = \frac{40 \times 2.77^3}{3} + 9.66 \times 1.42(14 - 2.77)^2$$

$$I_{cr} = 2013.46 \text{ cm}^4$$

✓ Cálculo de  $I_e$  (inercia efectiva):

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_s}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_s}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{186.42}{294}\right)^3 \times 7357.91 + \left[1 - \left(\frac{186.42}{294}\right)^3\right] \times 2013.46$$

$$I_e = 3375.96 \text{ cm}^4$$

✓ Deflexión instantánea:

$$\Delta'_{st} = (5 \times 480 \times 3.5^4 \times 10^6) / (384 \times 217370.65 \times 3375.96)$$

$$\Delta'_{st} = 1.28 \text{ cm}$$

Tabla 8. 1: Deflexiones de la Vigueta por Variaciones de Carga Viva – Teoría de Vigas.

| Losa Aligerada (h = 17cm)          |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| Carga Viva<br>(Kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación<br>(mm) |
| 0                                  | 7.46                |
| 50                                 | 8.79                |
| 100                                | 10.12               |
| 150                                | 11.45               |
| 200                                | 12.80               |

#### b) Cálculo de la deflexión diferida

Considerando 50% de carga viva (recomendación de dada en el libro Diseño de Estructuras de Concreto Armado de Teodoro E. Harmsen).

1.  $M_s = 232.75 \text{ Kg-m}$
2.  $M_{cr} = 186.42 \text{ Kg-m}$
3. Inercia efectiva ( $I_e$ ):

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_s}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_s}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{186.42}{232.75}\right)^3 \times 7357.91 + \left[1 - \left(\frac{186.42}{232.75}\right)^3\right] \times 2013.46$$

$$I_e = 4779.35 \text{ cm}^4$$

4. Deflexión diferida:

✓  $\Delta'_{st} = (5 \times 380 \times 3.5^4 \times 10^6) / (384 \times 217370.65 \times 4779.35)$

$$\Delta'_{st} = 0.71 \text{ cm}$$

✓  $\lambda = 2 / (1 + 50 \times \rho') = 2 / (1 + 50 \times 0)$

$$\lambda = 2$$

✓  $\Delta_{LT} = 0.71 \times 2 = 1.42 \text{ cm}$

**c) Cálculo de la Deflexión total:**

$$\Delta T_t = \Delta'_{st} + \Delta_{LT}$$

$$\Delta T_t = 1.28 \text{ cm} + 1.42 \text{ cm} = 2.70 \text{ cm}$$

## **8.1.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOSA COLABORANTE CON TEORÍAS CONVENCIONALES DE VIGAS**

Para el diseño de la losa colaborante se tomó el perfil tipo AD-600 gage 22 (0.749 mm), y sus características se las obtuvo de los manuales de fabricación Acero Deck (ver Tabla 4.4.)

### **8.1.2.1. Esfuerzos Admisibles**

Cuando se efectúa el vaciado del concreto, la plancha de steel deck debe resistir los esfuerzos que se generan en su sección. Así notamos que se generan esfuerzos por compresión y por tracción, debido al peso propio de la plancha más el peso del concreto fresco (cargas permanentes) y a las cargas propias de los trabajos de vaciado de concreto (cargas transitorias). Estos esfuerzos serán tomados por la plancha, los cuales no deben exceder del 50% del esfuerzo a fluencia  $f_y$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) de la plancha.

$$f_s \leq f_{adm.} = 0.5f_y$$

Donde:

$f_s$  = Esfuerzo actuante en el acero ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

$f_{adm}$  = Esfuerzo admisible en el acero ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia en el acero ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ).

Para los cálculos, y de acuerdo a lo que dice la norma NTE-E.060 se tomará como esfuerzo admisible  $f_s = 0.5f_y$

### **8.1.2.2. Diseño y Análisis por Flexión - Método de Elástico**

Para un buen diseño por capacidad admisible, debe cumplirse que:

$$M_u \leq \phi M_n$$

A continuación se detallan los parámetros de cargas aplicadas y la determinación de los esfuerzos internos para el diseño por el método elástico.

**a) Características:**

1. Se utilizará el perfil de AD-600 calibre 22 (0.749 mm).
2. Tipo de uso: Vivienda.
3. Se utilizará  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

**b) Cargas Muertas:**

1. Peso propio de la losa:  $223.20 \text{ Kg/m}^2$
2. Peso propio de la lámina:  $9.12 \text{ Kg/m}^2$
3. Carga muerta total (DL):  $232.32 \text{ Kg/m}^2$

**c) Cargas Vivas:**

Sobrecarga de uso (LL):  $200 \text{ Kg/m}^2$

**d) Datos Preliminares de la Losa:**

1. Ancho de tributario de losa colaborante:  $b = 90 \text{ cm}$
2. Luz de losa:  $L = 3.50 \text{ m}$
3. Espesor de losa:
  - ✓ Para luces menores o iguales a 4 m, el espesor de losa será de 12 cm ó 13 cm (Blanco, 2011, pág. 38).
  - ✓ Acero Deck recomienda para luces iguales a 4 m y sobrecargas máximas de  $234 \text{ Kg/m}^2$  espesores de losa de 13 cm. Pero si la luz es menor de 4 m las sobrecargas pueden aumentar
  - ✓  $e1 = L/24$ ;  $e2 = L/28$   
 $e1 = 350/24 \text{ cm} = 14.58$ ;  $e2 = 350/28 = 12.5 \text{ cm}$   
 $ef = (14.58 + 12.50)/2 = 13.54 \text{ cm}$
  - ✓ Por lo que se toma:  $t = 13 \text{ cm}$

**e) Combinación de Cargas:**

$$DL + LL = 232.32 + 200 = 432.32 \text{ Kg/m}^2$$

**f) Momento Máximo:**

$$Mu = \frac{wL^2}{8}$$

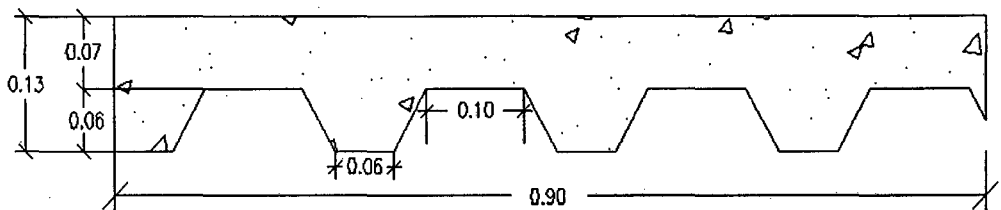
Donde:  $w = b(DL + LL)$   
 $w = 0.90(432.32) = 389.09 \text{ Kg/m}$   
 $L = 3.50 \text{ m}$   
 $M_u = \frac{wL^2}{8}$   
 $M_u = \frac{389.09 * 3.50^2}{8}$   
 $M_u = 595.79 \text{ Kg-m}$

**g) Corte Vertical:**

$$V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$$

Donde:  $w = b(DL + LL)$   
 $w = 0.90(432.32) = 389.09 \text{ Kg/m}$   
 $L = 3.50 \text{ m}$   
 $V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$   
 $V_{\text{máx}} = \frac{404.21 * 3.50}{2}$   
 $V_{\text{máx}} = 680.90 \text{ Kg}$

**h) Cálculo Estructural:**



**h.1. Datos:**

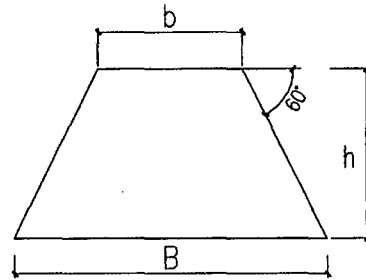
- 1) Luz de la losa:  $L = 3.50 \text{ m}$
- 2) Espesor de losa:  $h = 0.13 \text{ m}$
- 3) Espesor de concreto sobre la lámina de acero:  $e = 7 \text{ cm}$
- 4) Ancho de cálculo de la losa:  $b = 0.90 \text{ m}$
- 5) Distancia entre la fibra extrema en compresión y el centroide del área de tensión:

- ✓ Cálculo del centroide del área en tensión (trapezio del perfil AD-600)

$$C = \frac{(2xb + B)h}{3(b + B)}$$

$$C = \frac{(2 \times 6 + 12.46)6}{3(6 + 12.46)}$$

$$C = 2.63 \text{ cm}$$



- ✓ Entonces tomando la longitud desde la fibra extrema en compresión:

$$d = 7 \text{ cm} + 2.63 \text{ cm}$$

$$d = 9.63 \text{ cm}$$

- 6) Espesor de la lámina de acero:  $e = 0.0749 \text{ cm}$
- 7) Resistencia a compresión del concreto:  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- 8) Esfuerzo de fluencia:  $fy = 3025 \text{ Kg/cm}^2$
- 9)  $Es = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
- 10)  $Ec = 15000\sqrt{f'c} = 15000\sqrt{210} = 217\,370.65 \text{ Kg/cm}^2$

## h.2. Cálculos:

- 1) Cálculo de relación modular:

$$n = Es/Ec = 2\,100\,000/217\,370.65 = 9.66$$

- 2) Cálculo del área de acero:

$$As = 1.302 \times b \times e$$

$$As = 1.302 \times 90 \times 0.0749 = 8.78 \text{ cm}^2$$

- 3) Cálculo de cuantía en la sección compuesta:

$$\rho = \frac{As}{b \times d} = \frac{8.78}{90 \times 9.63} = 0.01013$$

- 4) Cálculo de la relación de esfuerzos admisibles:

$$r = \frac{0.50f_s}{0.45f'_c} = \frac{0.50 \times 3025}{0.45 \times 210} = 16.01$$



- 5) Cálculo del factor de profundidad e la fibra neutra:

$$k = \sqrt{(np)^2 + 2np} - np$$

$$k = \sqrt{(9.66 \times 0.01013)^2 + 2 \times 9.66 \times 0.01013} - 9.66 \times 0.01013$$

$$k = 0.356$$

- 6) Cálculo de la cuantía balanceada<sup>1</sup>:

$$\rho_b = \frac{n}{2r(n+r)} = \frac{9.66}{2 \times 16.01 \times (9.66 + 16.01)} = 0.01175$$

- 7) Cálculo de acero mínimo en tracción:

$$A_{s_{\min}} = \frac{0.70\sqrt{f'_c}}{f_y}; \text{ pero no menor que } 0.0020$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{0.70\sqrt{210}}{4200} = 0.0024$$

- 8) Si comparamos cuantías:

$$\rho < \rho_b$$

$0.01013 < 0.01175$ ; por lo que se supone que el acero alcanza primero los esfuerzos admisibles de tensión, por lo que se realizará los cálculos teniendo en cuenta que el acero fluye.

- 9) Cálculo de tensión en el acero:

$$f_s = f_{s_{adm}} = 0.50 \times 3025 = 1512.50 \text{ Kg/cm}^2$$

- 10) Cálculo de esfuerzo admisible en el concreto:

$$f_{c_{\max}} = \frac{2Asf_s}{kbd} = \frac{2 \times 8.78 \times 1512.50}{0.356 \times 90 \times 9.63} = 86.08 \text{ Kg/cm}^2$$

- 11) Cálculo de la fuerza resultante de la sección de compresión (concreto):

$$C_c = (1/2) f_{c_{\max}} \cdot k \cdot b \cdot d = 86.08 \times 0.356 \times 90 \times 9.63 \times (1/2) = 13279 \text{ Kg}$$

- 12) Cálculo de la fuerza resultante de tracción en la sección compuesta:

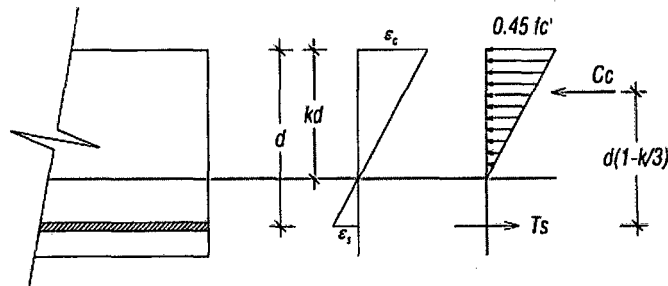
$$T_s = A_s f_s = 8.78 \times 1512.50 = 13279 \text{ Kg}$$

---

<sup>1</sup> ASCENCIO ARANGUA, Juan. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales.

13) Distancia entre las fuerzas resultantes de compresión y de tracción:

$$d_1 = d_j = d - dk/3 = 9.63 - (9.63 \times 0.356/3) = 8.49 \text{ cm}$$



14) Cálculo del momento nominal resistente de la sección:

$$M_n = C_c x d_1 = 13279 \times 0.0849 = 1127.47 \text{ Kg-m}$$

$$\phi M_n = 0.9 \times 1127.47 = 1014.72 \text{ Kg-m}$$

15) Comparando el momento nominal resistente con el momento último requerido:

$$\phi M_n > M_u$$

$$1074.72 \text{ Kg-m} > 595.79 \text{ Kg-m} \dots\dots \text{OK}$$

De acuerdo a esto, la sección propuesta tiene una resistencia admisible mayor a la solicitante en esta aplicación. Por esto los esfuerzos reales en la lámina de acero y el concreto deberían ser calculados usando los mismos principios de carga antes mencionados.

Si las fuerzas de tracción y compresión son iguales para el equilibrio se tiene:

$$C = T$$

Al utilizar la expresión que nos define al momento nominal de la sección compuesta se puede obtener:

$$M_u \leq \Phi M_n$$

$$M_n = C_c \cdot d_1 = T_s \cdot d_1$$

Calculamos las fuerzas de tracción y compresión utilizando las cargas reales:

$$Cr = Mu/d_1 = 595.79/0.0849 = 7017.55 \text{Kg}$$

$$Tr = 7017.55 \text{ Kg}$$

Hallamos los esfuerzos de compresión en el concreto y de tracción en la lámina de acero:

$$f_s = Tr/As = 7017.55/8.78 = 799.27 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{c_{\text{máx}}} = \frac{2 \times 799.27 \times 8.78}{0.356 \times 90 \times 9.63} = 45.49 \text{ Kg/cm}^2$$

Estos esfuerzos, por cierto, son menores a los esfuerzos admisibles para ambos materiales, llegando a una relación de esfuerzos de un 52.84% para la lámina colaborante y de 48.14% para el concreto, aproximadamente de su capacidad admisible. Esto, si se cumplieran las condiciones de carga impuestas y las disposiciones geométricas consideradas en la obtención de dichos esfuerzos.

Ya que los esfuerzos de compresión son sólo soportados por el concreto y los de tracción por el acero, es correcto pensar que el esfuerzo cortante que se produce entre ambos materiales será de la misma magnitud de las fuerzas  $C_c$  y  $T_s^2$  antes vistas:

$$V_n = 13279 \text{ Kg}$$

### 8.1.2.3. Diseño y Análisis por Flexión - Método de Resistencia Última

El método de la resistencia última para diseñar a flexión está basado en la fluencia de la totalidad de la lámina AD-600, por lo cual son aplicables las fórmulas tradicionales de diseño a la rotura (o resistencia última) para el concreto.

#### a) Datos Preliminares de la Losa:

1. Ancho tributario de losa colaborante:  $b = 90 \text{ cm}$

---

<sup>2</sup> ASCENCIO ARANGUA, Juan. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales.

2. Espesor de losa:  $t = 13 \text{ cm}$   
3. Luz de losa:  $L = 3.50 \text{ m}$

**b) Cargas Muertas:**

1. Peso propio de la losa:  $223.20 \text{ Kg/m}^2$   
2. Peso propio de la lámina:  $9.12 \text{ Kg/m}^2$   
3. Carga muerta total (DL):  $232.32 \text{ Kg/m}^2$

**c) Cargas Vivas:**

Sobrecarga de uso (LL):  $200 \text{ Kg/m}^2$

**d) Combinación de Cargas:**

$$1.4DL + 1.7LL = 1.4 \times 232.32 + 1.7 \times 200 = 665.25 \text{ Kg/m}^2$$

**e) Momento Máximo:**

$$M_u = \frac{wL^2}{8}$$

Donde:  $w = b(DL + LL)$

$$w = 0.90(665.25) = 598.72 \text{ Kg/m}$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

$$M_u = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_u = \frac{598.72 * 3.50^2}{8}$$

$$M_u = 916.79 \text{ Kg-m}$$

**f) Corte Vertical:**

$$V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$$

Donde:  $w = b(DL + LL)$

$$w = 0.90(665.25) = 598.72 \text{ Kg/m}$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

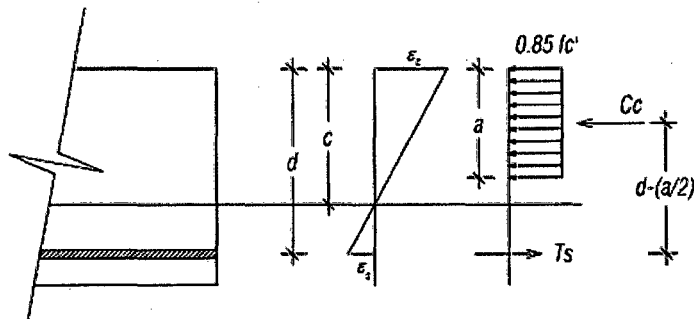
$$V_{\text{máx}} = \frac{wL}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{598.72 * 3.50}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = 1047.76 \text{ Kg}$$

**g) Cálculo Estructural:**

Assumiendo esfuerzos de fluencia, tanto en el concreto como en el acero, el método de la resistencia propone una distribución de esfuerzos rectangular en la zona de compresión sobre el concreto, obteniendo así las expresiones para el momento nominal resistente de acuerdo a lo indicado en la siguiente figura:



1. De acuerdo a esto el momento nominal resistente puede expresarse como:

$$M_n = 0.85f'_c x a x b x \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Donde:

$$a = \frac{\rho \cdot f_y \cdot d}{0.85f'_c} = \frac{0.01013 \times 3025 \times 9.63}{0.85 \times 210} = 1.65 \text{ cm}$$

2. Calculando el momento nominal ( $M_n$ ):

$$M_n = 0.85 \times 210 \times 1.65 \times 90 \times \left(9.63 - \frac{1.27}{2}\right) = 2384.33 \text{ Kg-m}$$

3. Calculando el momento último ( $M_u$ ):

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_u = 0.90 \times 2384.33 = 2145.89 \text{ Kg-m}$$

4. Comparando el momento último con el momento requerido:

$$2145.89 \text{ Kg-m} > 916.79 \text{ Kg-m} \quad \dots \text{ OK}$$

#### 8.1.2.4. Análisis Estructural por Corte Vertical

El diseño de secciones transversales sometidas a cortante debe estar basado en:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Donde  $V_u$  es la fuerza cortante mayorada en la sección considerada y  $V_n$  es la resistencia nominal al cortante calculado mediante:

$$V_n = V_c + V_s$$

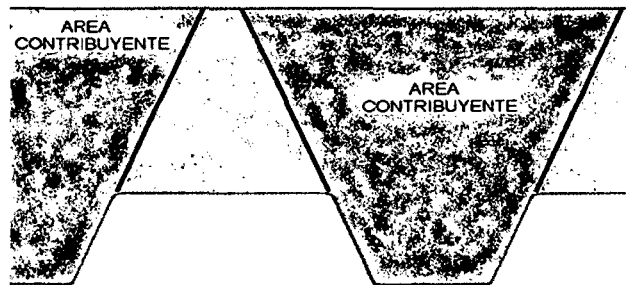
Donde  $V_c$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto y  $V_s$  es la resistencia nominal al cortante proporcionada por la lámina de acero.

1. El esfuerzo cortante resistido por el concreto para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión según la norma NTE-E.060 es:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_{cb}}d$$

$$V_c = 0.53\sqrt{210} \times 175.57 \times 3.93$$

$$V_c = 5299.41 \text{ Kg}$$



2. El esfuerzo cortante resistido por la lámina de acero se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$V_s = 0.5 \times A_s \times f_y^*$$

$$V_s = 0.5 \times 8.78 \times 3025$$

$$V_s = 13279 \text{ Kg}$$

3. Entonces la resistencia total de la sección compuesta será:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = 5299.41 \text{ Kg} + 13279 \text{ Kg}$$

$$V_n = 18578.41 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 0.85 \times 18578.41 \text{ Kg} = 15791.65 \text{ Kg}$$

$$\phi V_n = 15791.65 > 1047.76 \text{ Kg} = V_u$$

---

\* ASCENCIO ARANGUA, Juan. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales.

Se observa entonces que la resistencia al cortante vertical es muy alta comparada con el esfuerzo cortante requerido; por este motivo es que normalmente no se toma en cuenta el efecto de los esfuerzos cortantes verticales en el diseño de losas colaborantes, ya que para fallar por corte vertical debería ocurrir una grieta de corte en el concreto y el aplastamiento simultaneo de la sección de acero.

#### **8.1.2.5. Análisis Estructural por Corte Horizontal – Deslizamiento en la Interfaz Concreto/Acero**

##### **a) Resistencia de conectores**

Los conectores de corte son elementos de acero que tienen como función primordial tomar los esfuerzos de corte que se generan en la sección compuesta (acero-concreto) controlando y reduciendo las deformaciones. En este caso se proveerá de pernos conectores típicos para losa colaborante, que se colocan en la lámina de acero y permanecen embebidos en el concreto para ejercer la colaboración.

En la resistencia al cortante intervienen dos efectos principalmente: la resistencia al corte del conector y la resistencia del concreto alrededor del conector de corte (Ascencio, 2006, pág. 67-68).

##### **a.1. Resistencia al corte del conector**

La resistencia al corte del conector se determina mediante:

$$F_v^c = 0.5 \times A_c \times f_y^c \text{ (Kg)}^*$$

Donde:

- ✓  $A_c$  = Área de la sección transversal del conector.
- ✓  $f_y^c$  = Esfuerzo de fluencia del conector.

---

\* ZAPATA BAGLIETO, Luis. 2013. Diseño Estructural en Acero; ASCENCIO ARANGUA, Juan. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales.

## a.2. Resistencia del conector embebido en el concreto

La resistencia al cortante de un conector cuando este se encuentra embebido en concreto, se determina mediante la siguiente expresión:

$$F_v^h = 91 \times (d_1)^2 \sqrt{R_{28}} \text{ (Kg)} \blacklozenge$$

Donde:

- ✓  $d_1$ : Diámetro del conector:
- ✓  $R_{28}$ : Resistencia cúbica del concreto a los 28 días ( $R_{28} = f_c/0.80$ ); esto según la norma chilena Nch. 1037.

Los parámetros de diseño mencionados, entregan un valor para la fuerza de corte que sería capaz de transmitir un conector; se debe escoger el menor valor de ellos para así dimensionar el número de conectores que se deberán instalar en los extremos de la losa mixta, justo donde se materializan los apoyos y los esfuerzos de cortante son máximos.

Del diseño por flexión, es posible obtener el valor total de la fuerza de corte que se presenta entre el concreto y el acero cuando se alcanzan los esfuerzos admisibles. Es necesario dimensionar en diámetro y número los conectores de corte.

## a.3. Cálculos de Conectores de Corte

- 1)  $V_n = 13279 \text{ Kg}$  ----- Fuerza de corte máxima entre el concreto y el acero si se alcanzan los esfuerzos admisibles.
- 2) Utilizando un perno de conector de 63.5x12.7mm obtenemos los siguientes valores:
- 3)  $F_v^c = 0.5 \times A_c \times f_y^c \text{ (Kg)}$ 
  - a.  $F_v^c = 0.5 \times (\pi(1.27/2)^2) \times 2700$
  - b.  $F_v^c = 1710.14 \text{ Kg}$
  - c.  $F_v^c = 1710 \text{ Kg}$  ----- Resistencia del conector al corte

---

\* ASCENCIO ARANGUA, Juan. 2006. Diseño de Losas Colaborantes Unidireccionales.



$$4) F_v^h = 91x(d_1)^2\sqrt{R_{28}} \text{ (Kg)}$$

$$a. F_v^h = 91x(1.27)^2\sqrt{262.50} \text{ (Kg)}$$

$$b. F_v^h = 2378.01 \text{ Kg ----- Resistencia al corte del concreto}$$

- 5) El menor de estos valores corresponde a la resistencia al corte del conector, por lo que el valor de resistencia al cortante a utilizar será:

$$F_v^c = 1710 \text{ Kg}$$

- 6) La fuerza rasante real producida entre el concreto y el acero ante la incorporación de la sobrecarga de uso (diseño a flexión por el método elástico) es:

$$C_r = T_r = 7017.55 \text{ Kg}$$

Así el número se tiene:

$$N = \frac{V_r}{F_v^c} = \frac{7017.55}{1710}$$

$$N = 4.10 \approx 4 \text{ conectores de } 63.5x12.7\text{mm}$$

- 7) Este número de conectores es el necesario en la zona comprendida entre el momento máximo y el momento nulo, esto es en nuestro caso, desde el centro de la losa compuesta hacia un extremo.

#### 8.1.2.6. Acero en los Apoyos

- 1) Cálculo del momento:

$$M_u = \frac{wL^2}{24}$$

$$M_u = \frac{665.25 * 3.50^2}{24}$$

$$M_u = 339.55 \text{ Kg-m}$$

- 2) Cálculo del índice de refuerzo:

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7M_u}{\phi f'c. b. d^2}}$$

$$w = 0.85 - \sqrt{0.7225 - \frac{1.7 \times 351.56 \times 100}{0.9 \times 210 \times 10 \times 14^2}}$$

$$w = 0.02323$$

3) Cálculo de cuantía:

$$\rho = \frac{w \cdot f'c}{f_y} = \frac{0.02323 \times 210}{4200}$$

$$\rho = 0.00116$$

4) Cálculo de cuantía máxima:

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75\rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 210 \times 0.85 \times 6300}{4200 \times (6300 + 4200)} = 0.02168$$

$$\rho_{\text{máx}} = 0.75 \times 0.02168 = 0.01626$$

5) Cálculo de cuantía mínima:

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{f'c}}{f_y}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{0.70\sqrt{210}}{4200}$$

$$\rho_{\text{mín}} = 0.00242$$

6) Comparando cuantías:

$$\rho_{\text{mín}} < \rho < \rho_{\text{máx}}$$

$$0.01626 > 0.00116 \quad \dots \text{ OK}$$

$$0.00242 > 0.00116 \quad \dots \text{ ERROR}$$

Por lo que se tomará la cuantía mínima para los cálculos:

$$\rho = 0.00242$$

7) Cálculo del área de acero:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0.00242 \times 100 \times 9.63 = 2.33 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2.13 \text{ cm}^2 \equiv 3\phi 3/8''$$

$$A_s = 2.13 \text{ cm}^2$$

### 8.1.2.7. Acero de Temperatura

- 1) Cálculo de acero de retracción y temperatura:

$$A_s = 0.0018 * e_l * 1m$$

$$A_s = 0.0018 * 7 * 100 = 1.26 \text{ cm}^2$$

- 2) Utilizando  $\phi = N^\circ 6$ , el espaciamiento será:

$$S = 0.32 * 100 / 1.26 = 25.40 \text{ cm}$$

$$\text{Pero: } S \leq 5e_l \quad ; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

$$S \leq 5 * 7 \quad ; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

$$S \leq 35 \text{ cm} \quad ; \text{ ó } S \leq 40 \text{ cm}$$

- 3) Se toma el valor menor: 1  $\phi$  N° 6 @ 25 cm

### 8.1.2.8. Estimación de Deflexiones

Para la estimación de deflexiones se tiene que calcular la deflexión de la losa colaborante actuando como sistema compuesto.

#### 8.1.2.8.1. Deflexión del Sistema Compuesto de Losa Colaborante

Para el cálculo de deflexiones debido a cargas se podrán calcular teniendo en cuenta el comportamiento de una viga simplemente apoyada, soportando una carga uniformemente distribuida en su cara superior. Para este modelo la deformación máxima inmediata, debido a cargas propias más mas cargas vivas, ocurrida en el centro de la losa puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta'_{st} = \frac{5WL^4}{384. Ec. Ie}$$

Para estimar las deformaciones diferidas o deflexiones a largo plazo se utilizará la fórmula dada en la norma NTE-E.060:

$$\Delta_{LT} = \lambda. \Delta'_{st}$$

Donde:

Ie: Inercia efectiva.

W: Carga viva más carga muerta.

L: Luz libre de la losa.

Para el cálculo de la inercia efectiva utilizaremos la siguiente fórmula: (Easterling & Young - © ASCE, 1992, pág. 2376; Llopiz, 2012, pág. 31, Manual de Diseño Acero Deck, 2013, pág. 9):

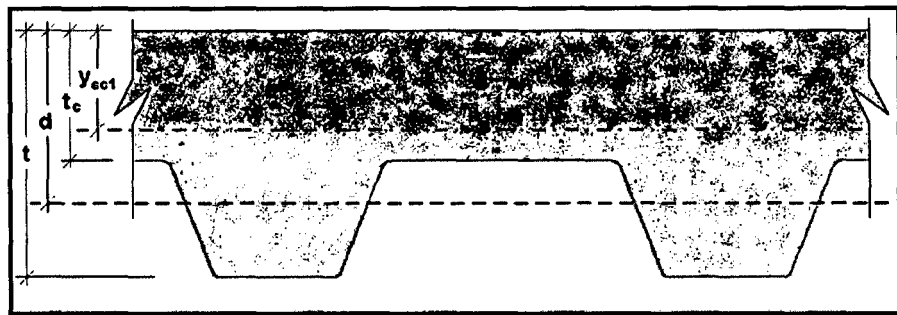
$$I_e = \frac{I_c + I_u}{2}$$

Donde:

Ic: Momento de inercia de la sección transformada fisurada.

Iu: Momento de inercia de la sección transformada no fisurada.

- 1) Determinando el momento de inercia de la sección transformada fisurada (Easterling & Young, 1992, pág. 2376, Manual de Diseño Acero Deck, pág. 8):

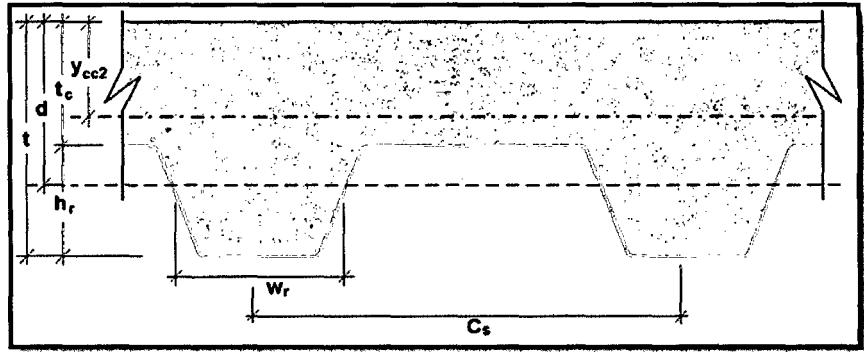


$$I_c = \frac{bx(Y_{cc1})^2}{3} + nA_sxY_{cs}^2 + nI_{sd}$$

$$Y_{cc1} = dx\sqrt{2x\rho n} + (\rho x n)^2 - \rho x n$$

I<sub>sd</sub>: Momento de inercia de la placa colaborante.

- 2) Determinando el momento de inercia de la sección transformada no fisurada (Easterling & Young, 1992, pág. 2377, Manual de Diseño Acero Deck, pág. 9):



$$I_u = \frac{bxtc^3}{12} + bxtcx(Y_{cc2} - 0.5xtc)^2 + nxI_{sd} + nxAsxY_{cs}^2 + \frac{b}{C_s} x [w_r x h_r \left( \frac{h_r^2}{12} + (t + Y_{cc2} - 0.5xh_r)^2 \right)]$$

$$Y_{cc2} = \frac{0.5xbxt^2 + nxAsxd - \frac{(C_s - w_r)xbxh_r}{C_s} x (t - 0.5xh_r)}{bxt + nxAs - \frac{b}{C_s} x h_r (C_s - w_r)}$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc2}$$

w<sub>r</sub>: Ancho medio del valle del perfil colaborante Acero Deck utilizado (cm).

C<sub>s</sub>: Espacio entre ejes de valles contiguos (cm).

3) Calculando I<sub>c</sub> e I<sub>u</sub>:

✓ Datos:

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| n               | 9.66                  |
| ρ               | 0.01013               |
| As              | 8.78 cm <sup>2</sup>  |
| I <sub>sd</sub> | 59.04 cm <sup>4</sup> |
| t               | 13 cm                 |
| t <sub>c</sub>  | 7 cm                  |
| h <sub>r</sub>  | 6cm                   |
| d               | 9.63 cm               |
| C <sub>s</sub>  | 22.92 cm              |
| w <sub>r</sub>  | 9.88 cm               |
| b               | 100 cm                |

✓ Cálculos:

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Y <sub>cc1</sub> | 3.42 cm                  |
| Y <sub>cc2</sub> | 5.61 cm                  |
| Y <sub>cs</sub>  | 4.02 cm                  |
| I <sub>c</sub>   | 3275.78 cm <sup>4</sup>  |
| I <sub>u</sub>   | 13674.85 cm <sup>4</sup> |

4) Cálculo del momento de inercia efectivo:

$$I_e = \frac{I_c + I_u}{2}$$

$$I_e = \frac{3275.78 + 13674.85}{2}$$

$$I_e = 8475.32 \text{ cm}^4$$

5) Cálculo de la deflexión instantánea: Teniendo en cuenta ancho tributario de un metro.

$$CT = 432.32 \text{ Kg/m}$$

$$E_c = 217\,370.65 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I_e = 8475.32 \text{ cm}^4$$

$$L = 3.50 \text{ m}$$

$$\Delta'_{st} = \frac{5 \times 432.32 \times 3.5^4 \times 10^6}{384 \times 217370.65 \times 8475.32}$$

$$\Delta'_{st} = 0.459 \text{ cm}$$

Tabla 8. 2: Deflexiones de la Losa Colaborante por Variaciones de Carga-Teoría de Vigas.

| <b>Losa Colaborante con Perfil AD-600</b> |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Carga (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>          | <b>Deformación (mm)</b> |
| 0   | 2.46                    |
| 50  | 2.99                    |
| 100                                       | 3.52                    |
| 150                                       | 4.05                    |
| 200                                       | 4.59                    |

6) Cálculo de la deflexión diferida:

Considerando el tiempo para cargas sostenidas mayor a 5 años.

$$\xi = 2$$

$$\rho' = 0.00$$

$$\lambda = 2 / (1 + 50 \times 0.00) = 2$$

$$\Delta'_{st} = 0.352 \text{ cm}$$

$$\Delta L_t = 2 \times 0.352 \text{ cm} = 0.704 \text{ cm}$$

7) Cálculo de la deflexión total:

$$\Delta T_t = 0.459 \text{ cm} + 0.704 \text{ cm} = 1.16 \text{ cm}$$

### 8.1.3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS MODELOS UTILIZANDO SAP2000:

#### 8.1.3.1. Análisis y Diseño de los Modelos

##### a) Losa aligerada:

Losa colaborante utilizando el perfil AD-600.

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 17 \text{ cm}$$

Condición de apoyo: Fijo – deslizante (simplemente apoyado).

Combinación de carga: DL + LL

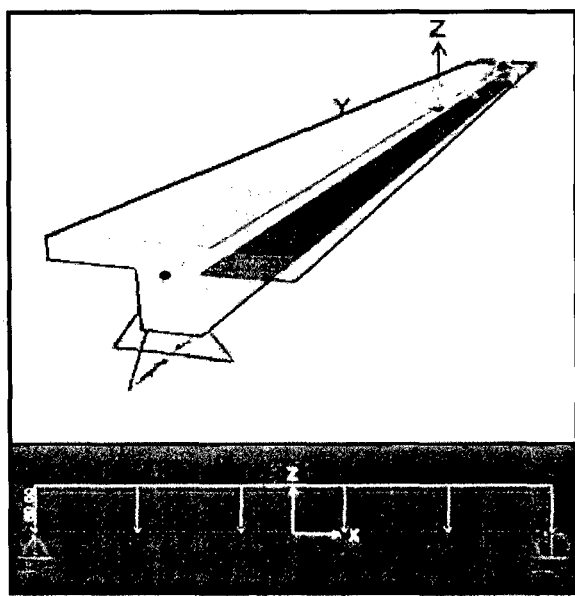


Figura 8. 1: Vigueta de losa aligerada y carga viva (SAP2000).

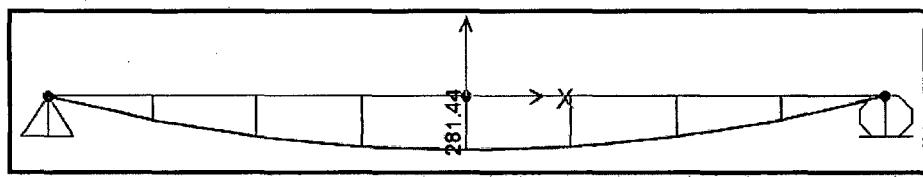


Figura 8. 2: Momento en la vigueta de la losa aligerada (SAP2000).

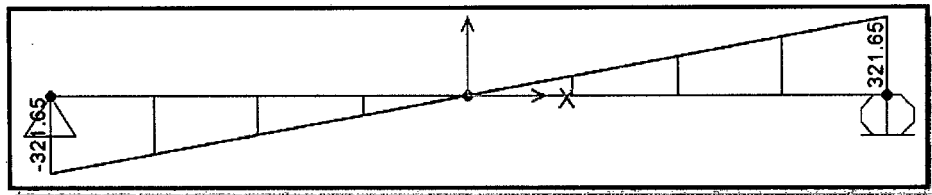


Figura 8. 3: Cortante en la viga de la losa aligerada (SAP2000).

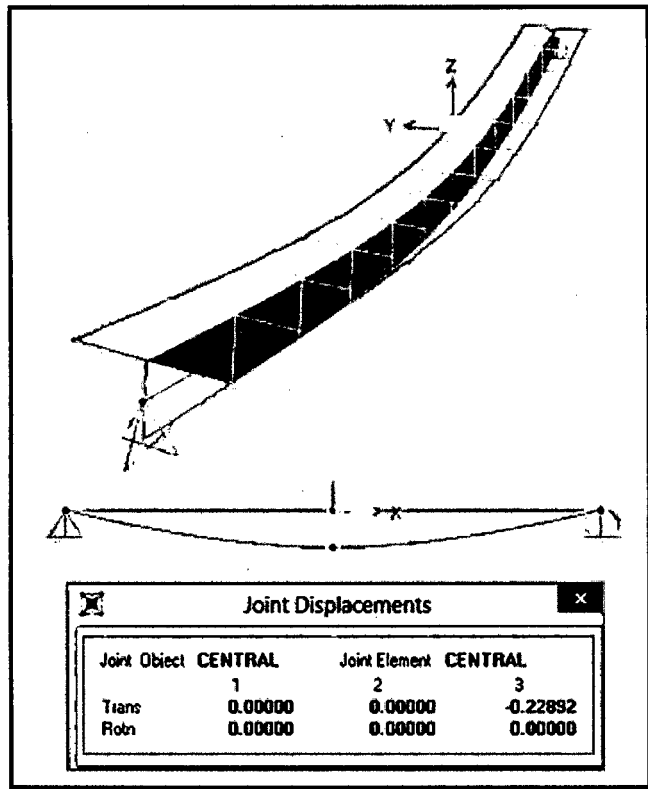


Figura 8. 4: Deflexión al centro de la luz en la viga de la losa aligerada (SAP2000).

Cuando se lleva a cabo el análisis incremental, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 8. 3: Deflexiones de la Vigueta por Variaciones de Carga (SAP2000).

| Losa Aligerada (h = 17cm)  |                  |
|----------------------------|------------------|
| Carga (Kg/m <sup>2</sup> ) | Deformación (mm) |
| 0                          | 10.081           |
| 50                         | 10.330           |
| 100                        | 10.580           |
| 150                        | 10.829           |
| 200                        | 11.080           |



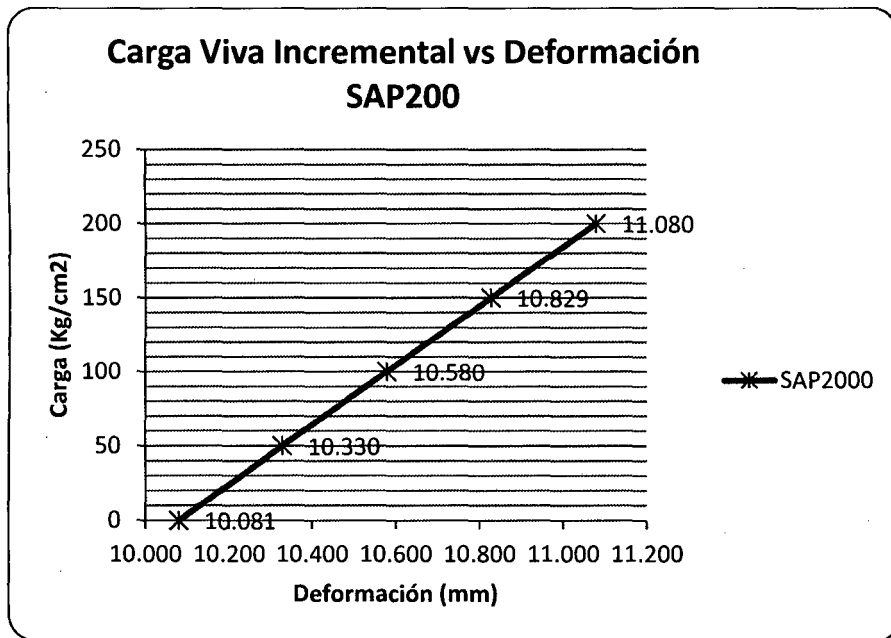


Figura 8. 5: Carca incremental vs Deformación (elaboración propia).

Se observa claramente un comportamiento lineal ante la incorporación de las sobrecargas, esto se debe a la naturaleza propia del análisis estático lineal elástico efectuado por SAP2000. Se realizó un análisis lineal, puesto que se consideró que todos los materiales trabajan en un rango elástico lineal.

#### b) Losa colaborante

Losa colaborante utilizando el perfil AD-600.

$b = 90 \text{ cm}$

$h = 13 \text{ cm}$

Condición de apoyo: Fijo – deslizante (simplemente apoyado).

Combinación de carga: DL + LL

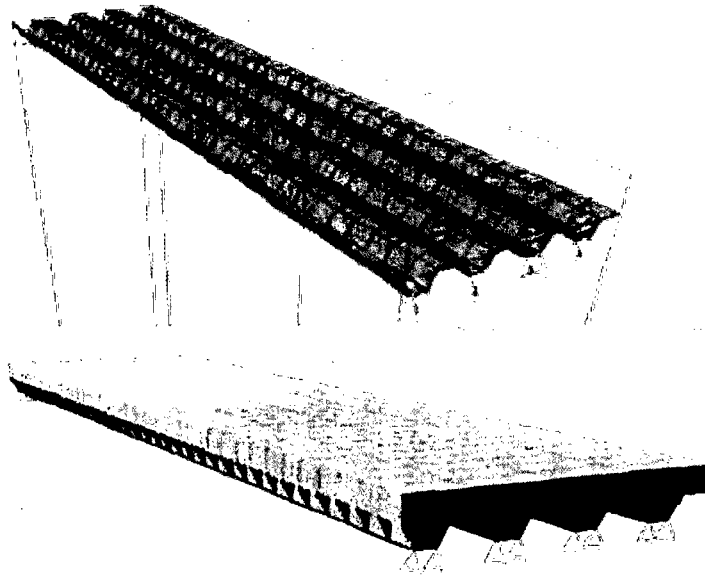


Figura 8. 6: Placa AD-600 y losa colaborante (SAP2000).

Luego de ingresar el modelo de la losa compuesta al software de análisis estructural SAP2000, se ingresan las condiciones de apoyo, las características del material y las cargas asociadas al análisis. Una vez definido el modelo puede efectuarse el análisis.

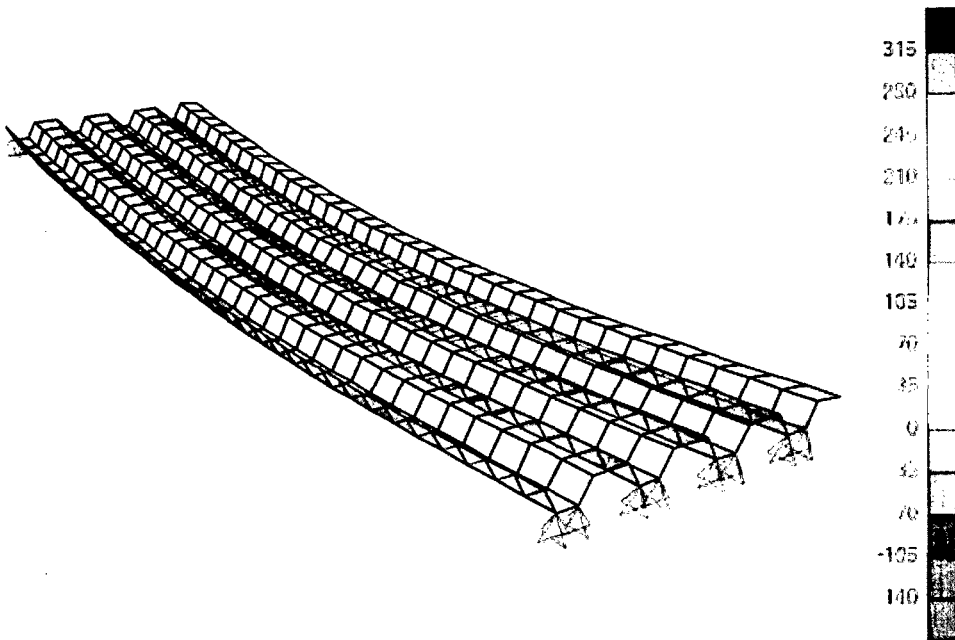


Figura 8. 7: Diagrama de distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en la lámina, vista superior (SAP2000).

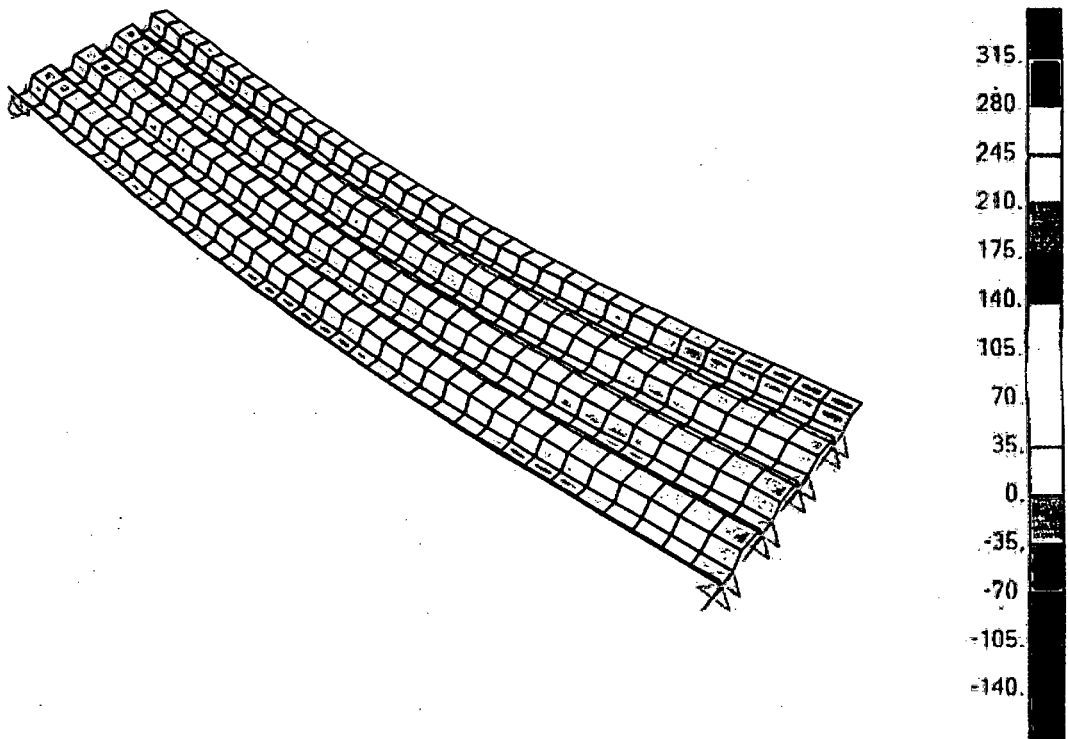


Figura 8. 8: Diagrama de distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en la lámina, vista inferior (SAP2000).

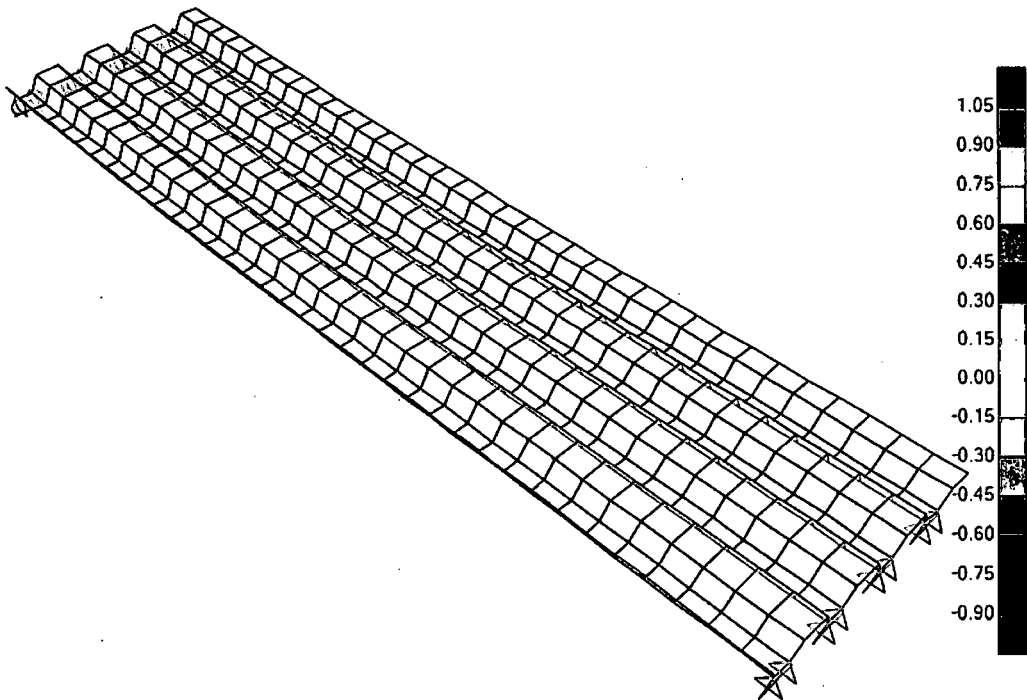


Figura 8. 9: Diagrama de esfuerzo cortante en la lámina de acero (SAP2000).

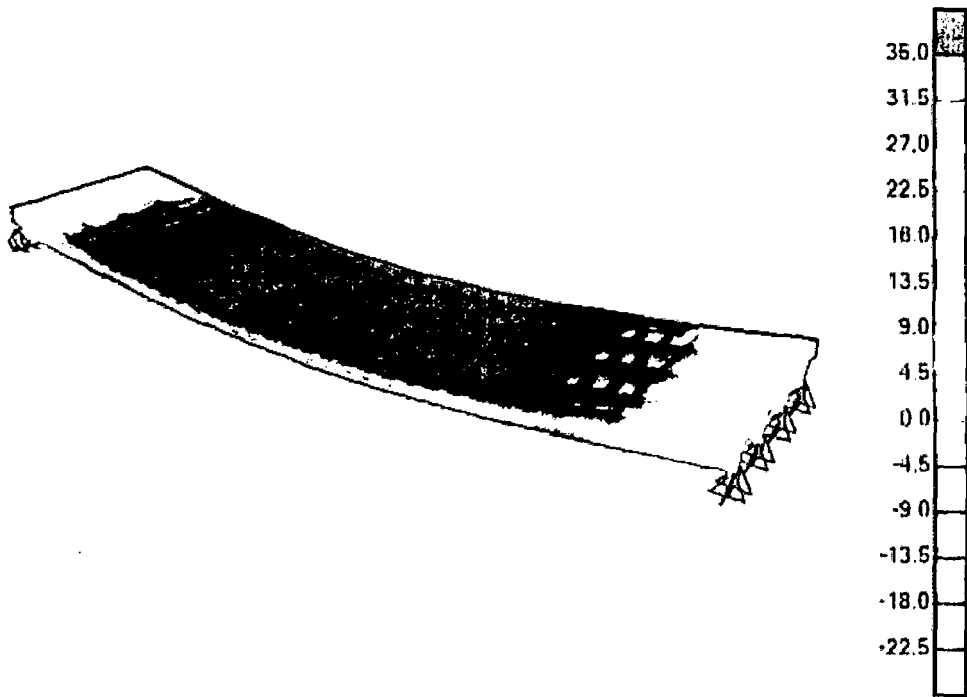


Figura 8. 10: Diagrama distribución de esfuerzos de tracción y compresión longitudinal en el concreto (SAP2000).

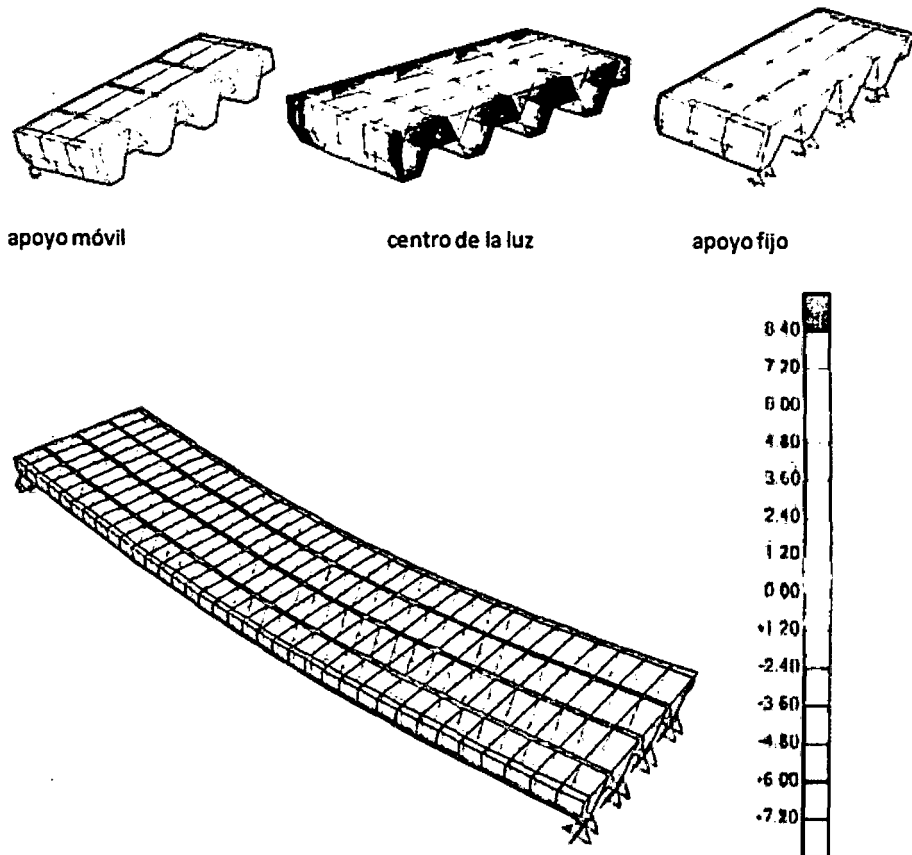


Figura 8. 11: Diagrama distribución de esfuerzo cortante (en los apoyos, en el centro de la luz y a lo largo de toda la luz) en el concreto (SAP2000).

A continuación se muestran tablas con los desplazamientos de la parte central de la losa colaborante, que es el lugar donde se dan los mayores desplazamientos. Y luego se muestra una tabla donde se muestran los desplazamiento por variaciones en la carga viga.

Tabla 8. 4: Desplazamientos en el Centro de la Losa Colaborante (SAP2000).

| TABLE: Joint Displacements |            |             |          |         |          |           |             |          |
|----------------------------|------------|-------------|----------|---------|----------|-----------|-------------|----------|
| Joint                      | OutputCase | CaseType    | U1       | U2      | U3       | R1        | R2          | R3       |
| Text                       | Text       | Text        | mm       | mm      | mm       | Radians   | Radians     | Radians  |
| 290                        | CS         | Combination | -0.01624 | 0.14881 | -2.30891 | -0.00009  | 0.000008737 | 0.000018 |
| 291                        | CS         | Combination | -0.01663 | 0.14401 | -2.30867 | -0.000091 | -0.000017   | 0.000018 |
| 292                        | CS         | Combination | -0.01865 | 0.14508 | -2.30931 | -0.000091 | 0.000089    | 0.000018 |
| 293                        | CS         | Combination | -0.01133 | 0.15113 | -2.3137  | -0.000091 | 0.000052    | 0.000017 |
| 294                        | CS         | Combination | -0.0113  | 0.15286 | -2.3099  | -0.00009  | 0.000023    | 0.000017 |
| 295                        | CS         | Combination | -0.01578 | 0.14806 | -2.31291 | -0.000091 | 0.000052    | 0.000017 |
| 296                        | CS         | Combination | -0.01791 | 0.14911 | -2.3148  | -0.00009  | 0.000077    | 0.000018 |
| 297                        | CS         | Combination | -0.01097 | 0.15512 | -2.31836 | -0.00009  | 0.000066    | 0.000019 |
| 298                        | CS         | Combination | -0.01096 | 0.15696 | -2.31789 | -0.000092 | 0.000025    | 0.000019 |
| 299                        | CS         | Combination | -0.01361 | 0.15211 | -2.31982 | -0.000091 | 0.000012    | 0.000017 |
| 300                        | CS         | Combination | -0.01577 | 0.15315 | -2.32199 | -0.000091 | 0.000158    | 0.000017 |
| 301                        | CS         | Combination | -0.0022  | 0.1592  | -2.32942 | -0.000091 | 0.000111    | 0.000018 |
| 302                        | CS         | Combination | -0.00226 | 0.16096 | -2.32032 | -0.000091 | -0.00009    | 0.000018 |
| 303                        | CS         | Combination | -0.01307 | 0.1561  | -2.32689 | -0.000091 | 0.000597    | 0.000018 |
| 304                        | CS         | Combination | -0.01531 | 0.15716 | -2.33007 | -0.000093 | -0.001524   | 0.000018 |
| 305                        | CS         | Combination | -0.15382 | 0.16322 | -2.25007 | -0.00009  | -0.000855   | 0.000018 |
| 306                        | CS         | Combination | -0.15406 | 0.16464 | -2.42449 | -0.000092 | 0.003596    | 0.000017 |
| 307                        | CS         | Combination | -0.0181  | 0.15086 | -2.30889 | 0.000091  | 0.00000928  | 0.000019 |
| 308                        | CS         | Combination | -0.01851 | 0.15694 | -2.30866 | 0.00009   | -0.000017   | 0.000019 |
| 309                        | CS         | Combination | -0.02053 | 0.15809 | -2.30933 | 0.00009   | 0.00009     | 0.000019 |
| 310                        | CS         | Combination | -0.01309 | 0.15336 | -2.31378 | 0.00009   | 0.000053    | 0.000018 |
| 311                        | CS         | Combination | -0.01307 | 0.15521 | -2.3099  | 0.000091  | 0.000022    | 0.000018 |
| 312                        | CS         | Combination | -0.01758 | 0.16131 | -2.31292 | 0.000091  | 0.000052    | 0.000019 |
| 313                        | CS         | Combination | -0.01971 | 0.16244 | -2.3148  | 0.000091  | 0.000075    | 0.000019 |
| 314                        | CS         | Combination | -0.01292 | 0.15764 | -2.31827 | 0.000092  | 0.000066    | 0.00002  |
| 315                        | CS         | Combination | -0.01291 | 0.15962 | -2.31797 | 0.00009   | 0.000024    | 0.00002  |
| 316                        | CS         | Combination | -0.01541 | 0.16569 | -2.31982 | 0.000091  | 0.000009881 | 0.000019 |
| 317                        | CS         | Combination | -0.01758 | 0.16682 | -2.32197 | 0.000091  | 0.000158    | 0.000019 |
| 318                        | CS         | Combination | -0.00405 | 0.16203 | -2.32938 | 0.000091  | 0.000111    | 0.000019 |
| 319                        | CS         | Combination | -0.00411 | 0.16396 | -2.3203  | 0.000091  | -0.00009    | 0.000019 |
| 320                        | CS         | Combination | -0.01493 | 0.17007 | -2.32689 | 0.000091  | 0.000597    | 0.000019 |
| 321                        | CS         | Combination | -0.01717 | 0.17122 | -2.33008 | 0.000093  | -0.001523   | 0.00002  |
| 322                        | CS         | Combination | -0.15564 | 0.16643 | -2.2501  | 0.00009   | -0.000854   | 0.000019 |
| 323                        | CS         | Combination | -0.15589 | 0.16804 | -2.42451 | 0.000092  | 0.003595    | 0.00002  |
| 655                        | CS         | Combination | -0.01436 | 0.15818 | -2.31148 | 0         | 0           | 0        |
| 656                        | CS         | Combination | -0.01388 | 0.15852 | -2.31065 | 0         | 0           | 0        |
| 657                        | CS         | Combination | -0.01619 | 0.1478  | -2.31153 | 0         | 0           | 0        |
| 658                        | CS         | Combination | -0.01571 | 0.14816 | -2.31068 | 0         | 0           | 0        |
| 709                        | CS         | Combination | -0.01151 | 0.16221 | -2.3174  | 0         | 0           | 0        |
| 710                        | CS         | Combination | -0.01334 | 0.1521  | -2.31738 | 0         | 0           | 0        |

|     |    |             |          |         |          |   |   |   |
|-----|----|-------------|----------|---------|----------|---|---|---|
| 744 | CS | Combination | -0.01108 | 0.16257 | -2.31731 | 0 | 0 | 0 |
| 745 | CS | Combination | -0.01291 | 0.15247 | -2.31733 | 0 | 0 | 0 |
| 779 | CS | Combination | -0.00882 | 0.16626 | -2.32501 | 0 | 0 | 0 |
| 780 | CS | Combination | -0.01065 | 0.15643 | -2.32498 | 0 | 0 | 0 |
| 814 | CS | Combination | -0.00838 | 0.1666  | -2.32327 | 0 | 0 | 0 |
| 815 | CS | Combination | -0.01021 | 0.1568  | -2.32325 | 0 | 0 | 0 |
| 849 | CS | Combination | -0.00622 | 0.17031 | -2.33435 | 0 | 0 | 0 |
| 850 | CS | Combination | -0.00805 | 0.16084 | -2.33438 | 0 | 0 | 0 |
| 884 | CS | Combination | -0.00548 | 0.17104 | -2.42444 | 0 | 0 | 0 |
| 885 | CS | Combination | -0.00731 | 0.16167 | -2.42446 | 0 | 0 | 0 |
| 919 | CS | Combination | -0.01646 | 0.15577 | -2.30838 | 0 | 0 | 0 |
| 920 | CS | Combination | -0.01829 | 0.14521 | -2.30838 | 0 | 0 | 0 |
| 954 | CS | Combination | -0.01719 | 0.15515 | -2.30835 | 0 | 0 | 0 |
| 955 | CS | Combination | -0.01902 | 0.14455 | -2.30833 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: SAP2000

Tabla 8. 5: Deflexiones en la Losa Colaborante por Variaciones de Carga (SAP2000).

| Losa Colaborante con Perfil AD-600 |                  |
|------------------------------------|------------------|
| Carga (Kg/cm <sup>2</sup> )        | Deformación (mm) |
| 0                                  | 1.293            |
| 50                                 | 1.576            |
| 100                                | 1.859            |
| 150                                | 2.142            |
| 200                                | 2.425            |

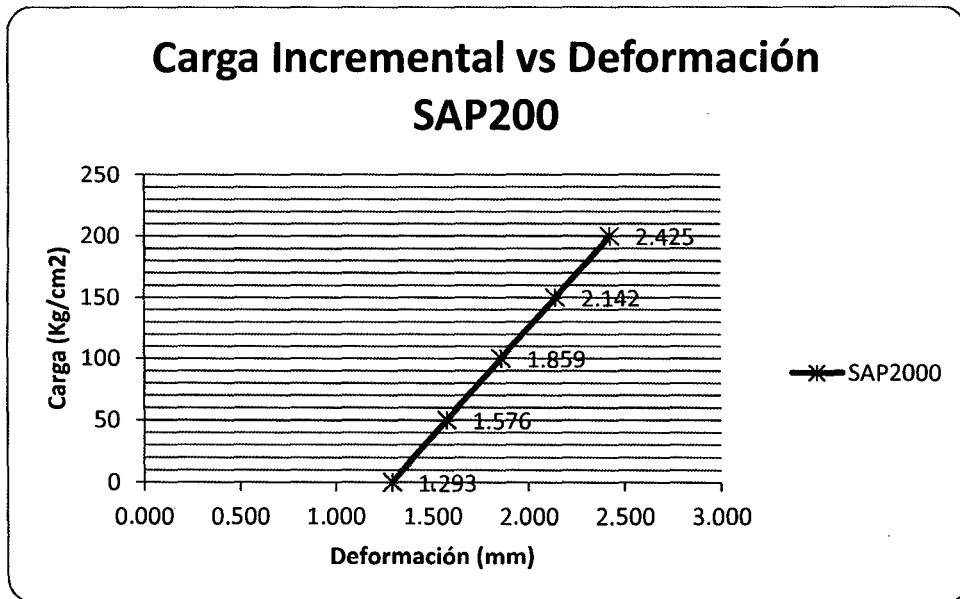


Figura 8. 12: Carga incremental vs deformación (elaboración propia).

Se observa claramente un comportamiento lineal ante la incorporación de las sobrecargas, esto se debe a la naturaleza propia del análisis estático lineal elástico efectuado por SAP2000. Se realizó un análisis lineal, puesto que se consideró que todos los materiales trabajan en un rango elástico lineal. Con esta premisa es posible evaluar entonces el desempeño estructural de los elementos en su comportamiento lineal elástico.

#### **8.1.4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOSAS ALIGERADAS Y LOSAS COLABORANTES**

Para realizar comparaciones entre las cantidades de los insumos y los precios que se utilizarán en cada tipo de losa considerada procedimos a realizar los cálculos por m<sup>2</sup>. Para el cálculo de las cantidades de materiales, se tomaran los valores hallados en el capítulo anterior para cada tipo de losa.

##### **8.1.4.1. LOSA ALIGERADA**

###### **a) Metrado**

Realizamos el metrado para la losa aligerada:

###### **a.1. Cantidad de Ladrillo Hueco por m<sup>2</sup>:**

Para el cálculo del ladrillo empleamos la fórmula:

$$C = \frac{1}{(A + V)L}$$

Donde:

C: Cantidad de ladrillos huecos por m<sup>2</sup> de losa aligerada.

L: Longitud de ladrillo hueco (0.30 m).

A: Ancho de ladrillo hueco (0.30 m).

V: Ancho de vigueta (0.10 m).

Entonces:

$$C = \frac{1}{(A + V)L} = \frac{1}{(0.30 + 0.10)0.30} = 8.33 \text{ und/m}^2$$

**a.2. Cantidad de concreto por m<sup>2</sup> de losa aligerada:**

Volumen total (Vt) = Vol. losa superior (Vls) + Vol. de viguetas (Vv)

$$Vls = 1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.05\text{m} = 0.05 \text{ m}^3$$

$$Vv = 2.5(1\text{m} \times 0.10\text{m} \times 0.12\text{m}) = 0.03 \text{ m}^3$$

$$Vt = 0.05 \text{ m}^3 + 0.03 \text{ m}^3 = 0.08 \text{ m}^3$$

**a.3. Cantidad de encofrado por m<sup>2</sup> de losa aligerada:**

Según el reglamento de metrados se considera toda el área a techar:

$$1\text{m} \times 1\text{m} = 1\text{m}^2$$

**a.4. Cantidad de acero corrugado por m<sup>2</sup> de losa aligerada:**

✓ **Acero en el centro de la luz:**

De los cálculos anteriores se observa que se necesita 2φ3/8" por vigueta, por lo que en un m<sup>2</sup> se necesitará:

1.  $As = 2.5(2\phi 3/8'') = 5\phi 3/8''$  por 1 m de longitud.
2.  $L = 1 \text{ m}$
3. Longitud total =  $1 \text{ m} \times 5 = 5 \text{ m}$
4. Peso de  $\phi 3/8'' = 0.560 \text{ Kg/m}$
5. Cantidad total de acero =  $5 \text{ m} \times 0.560 \text{ Kg/m} = 2.80 \text{ Kg}$
6. Precio de una varilla de  $\phi 3/8''$  por 9 m de longitud = S/. 17.53
7. Peso de una varilla de  $\phi 3/8'' = 9 \text{ m} \times 0.560 \text{ Kg/m} = 5.04 \text{ Kg}$
8. Precio por Kg de una varilla de  $\phi 3/8'' = \text{S}/. 3.48$

✓ **Acero en los apoyos:**

1. En un ancho de 100 cm se colocará 3φ3/8".
2. Longitud de cada fierro =  $L/4 + 0.25\text{m} = 3.50/4 + 0.25\text{m} = 1.125 \text{ m}$
3. Longitud total =  $3 \times 1.125\text{m} = 3.375 \text{ m}$
4. Cantidad total de acero en los apoyos =  $3.375 \text{ m} \times 0.560 \text{ Kg/m} = 1.89 \text{ Kg}$
5. Precio de una varilla de  $\phi 3/8''$  por 9 m de longitud = S/. 17.53



6. Peso de una varilla de  $\phi 3/8'' = 9 \text{ m} \times 0.560 \text{ Kg/m} = 5.04 \text{ Kg}$
7. Precio por Kg de una varilla de  $\phi 3/8'' = \text{S/} . 3.48$

✓ **Acero de temperatura:**

1. El acero de temperatura se coloca cada 25 cm, se colocan dejando 12.50 cm a cada lado, por lo que en un metro cuadrado habrá:
2.  $A_t = 5\phi N^{\circ}6$  por metro lineal.
3. Longitud total de acero de temperatura = 5 m
4. Cantidad total de acero de temperatura por 1 m =  $5 \text{ m} \times 0.250 \text{ Kg/m} = 1.25 \text{ Kg}$
5. Precio de una varilla de  $\phi N^{\circ}6$  por 9 m =  $\text{S/} . 6.16$
6. Precio por Kg de una varilla de  $\phi N^{\circ}6 = \text{S/} . 2.74$

**b) Análisis de Costo Unitario por m<sup>2</sup>**

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA   |        |          |                      |               |
|---|--------|----------|----------------------|---------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA  |        |          |                      |               |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |        |          |                      |               |
| ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA TESIS DE COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS |        |          |                      |               |
| TESISTA: RODRÍGUEZ CHÁVARRY, Andersson Nielser Nilthony   |        |          |                      |               |
| Partida: Encofrado y Desencofrado de Losa Aligerada   |        |          |                      |               |
|   |        |          | COSTO UNITARIO TOTAL | S/ . 171.03   |
| Especificaciones  |        |          | Madera tornillo      |               |
| Cuadrilla   |        |          | Rendimiento          |               |
| Habilitación: 1 oficial + 2 peones  |        |          | 70.00                | m2/día        |
| Encofrado: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial  |        |          | 12.00                | m2/día        |
| Desencofrado: 1 oficial + 2 peones  |        |          | 30.00                | m2/día        |
| DESCRIPCIÓN/RECURSO   | Unidad | Cantidad | Precio               | Parcial (S/.) |
| <b>MANO DE OBRA</b>   |        |          |                      | <b>28.16</b>  |
| Capataz   | hh     | 0.067    | 14.80                | 0.99          |
| Operario  | hh     | 0.667    | 12.50                | 8.33          |
| Oficial   | hh     | 1.048    | 11.00                | 11.52         |
| Peón  | hh     | 0.762    | 9.60                 | 7.31          |
| <b>MATERIALES</b>   |        |          |                      | <b>50.57</b>  |

|   |               |  |               |  |
|---|---------------|--|---------------|--|
| Madera tornillo                                     | pie2          | 10.758   | 4.60          | 49.49  |
| Clavos de 2 1/2                                     | Kg            | 0.100  | 4.90          | 0.49   |
| Alambre negro N° 16                                 | Kg            | 0.110  | 5.40          | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>                        |               |  |               | <b>0.84</b>                                      |
| Herramientas manuales                               | %MO           | 0.030  | 28.16         | 0.84   |
| <b>Partida: Colocación de Acero Grado 60</b>        |               |  |               |  |
| <b>Especificaciones</b>                             |               | Acero corrugado grado 60 de $\phi$ 3/8" por 9.00 m cortado con cizalla |               |  |
| <b>Cuadrilla</b>                                    |               | <b>Rendimiento</b>   |               | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 23.00</b> |
| Habilitación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial |               | 240.00   | Kg/día        |  |
| Colocación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial   |               | 240.00   | Kg/día        |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>                          | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                 |               |  |               | <b>1.67</b>                                      |
| Capataz   | hh            | 0.007  | 14.80         | 0.10   |
| Operario  | hh            | 0.067  | 12.50         | 0.83   |
| Oficial   | hh            | 0.067  | 11.00         | 0.73   |
| <b>MATERIALES</b>                                   |               |  |               | <b>21.27</b>                                     |
| Acero corrugado $\phi$ 3/8                          | Kg            | 5.940  | 3.48          | 20.67  |
| Alambre negro N° 16                                 | Kg            | 0.110  | 5.40          | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>                        |               |  |               | <b>0.07</b>                                      |
| Cizalla   | hm            | 0.032  | 0.50          | 0.016  |
| Herramientas manuales                               | %MO           | 0.030  | 1.67          | 0.050  |
| <b>Partida: Colocación de Ladrillo 30x30x12 cm</b>  |               |  |               |  |
| <b>Especificaciones</b>                             |               | Ladrillo para techo 30x30x12 cm  |               |  |
| <b>Cuadrilla</b>                                    |               | <b>Rendimiento</b>   |               | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 25.44</b> |
| Colocación: 1 operario + 2 peones                   |               | 25.00  | m2/día        |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>                          | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                 |               |  |               | <b>10.14</b>                                     |
| Operario  | hh            | 0.320  | 12.50         | 4.00   |
| Peón  | hh            | 0.640  | 9.60          | 6.14   |
| <b>MATERIALES</b>                                   |               |  |               | <b>14.99</b>                                     |
| Ladrillo para techo 30x30x12 cm                     | Unidad        | 8.330  | 1.80          | 14.99  |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>                        |               |  |               | <b>0.30</b>                                      |
| Herramientas manuales                               | %MO           | 0.030  | 10.14         | 0.30   |

| Partida: Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup> para losas y vigas |                |                                       |                     |                       |
|---|----------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Especificaciones  |                | Camión concretero, bomba y vibradores |                     |                       |
| Cuadrilla   |                | Rendimiento                           |                     | Costo Unitario (C.U.) |
| Vaciado: 1 capataz + 4 operario + 8 peones                                    |                | 100.00                                | m <sup>3</sup> /día |                       |
| Curado: 0.10 capataz + 1 peón   |                | 100.00                                | m <sup>3</sup> /día |                       |
| DESCRIPCIÓN/RECURSO   | Unidad         | Cantidad                              |                     | Precio                |
| <b>MANO DE OBRA</b>   |                |                                       |                     | <b>12.21</b>          |
| Capataz   | hh             | 0.088                                 |                     | 14.80                 |
| Operario  | hh             | 0.320                                 |                     | 12.50                 |
| Peón  | hh             | 0.720                                 |                     | 9.60                  |
| <b>MATERIALES</b>   |                |                                       |                     | <b>27.20</b>          |
| Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>                             | m <sup>3</sup> | 0.080                                 |                     | 340.00                |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>  |                |                                       |                     | <b>3.60</b>           |
| Bomba (1)   | hm             | 0.08                                  |                     | 23.50                 |
| Vibradores de 2", 4HP (2)   | hm             | 0.16                                  |                     | 8.47                  |
| Herramientas manuales   | %MO            | 0.03                                  |                     | 12.21                 |

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ El precio del ladrillo hueco por unidad, ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El precio del concreto f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup>, es un concreto premezclado y ha sido obtenido de DINO.
- ✓ El precio del acero corrugado ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El costo total en soles por m<sup>2</sup> de losa aligerada es: S/. 171.03
- ✓ El costo total de mano de obra es: S/. 52.18
- ✓ El costo total de materiales es: S/. 114.03
- ✓ El costo total de equipo y herramientas es: S/. 4.82

#### 8.1.4.2. LOSA COLABORANTE

##### a) Metrado

Realizamos el metrado para la losa aligerada:

##### a.1. Cantidad de placa colaborante por m<sup>2</sup>:

1. La placa colaborante que se utilizará es un producto de Acero – Deck, el precio por metro cuadrado de cada placa es de S/. 45.50.

**a.2. Cantidad de concreto por m<sup>2</sup> de losa colaborante:**

1. Volumen total (Vt) = Vol. losa superior (Vls) + Vol. de valles (Vv)
2. Vls = 1m x 1m x 0.07m = 0.075 m<sup>3</sup>
3. Vv = 3.93 {[(0.1292+0.06)/2]0.06} = 0.023 m<sup>3</sup>
4. Vt = 0.07 m<sup>3</sup> + 0.02 m<sup>3</sup> = 0.093 m<sup>3</sup>

**a.3. Cantidad de acero corrugado por m<sup>2</sup> de losa colaborante:**

✓ **Acero en los apoyos:**

1. En un ancho de 100 cm se colocará 3φ3/8".
2. Longitud de cada fierro = L/4+0.25m = 3.50/4 + 0.25m = 1.125 m
3. Longitud total = 3x1.125m = 3.375 m
4. Cantidad total de acero en los apoyos = 3.375 mx0.560 Kg/m = 1.89 Kg
5. Precio de una varilla de φ3/8" por 9 m de longitud = S/. 17.53
6. Peso de una varilla de φ3/8" = 9 mx0.560 Kg/m = 5.04 Kg
7. Precio por Kg de una varilla de φ3/8" = S/. 3.48

✓ **Acero de temperatura:**

1. El acero de temperatura se coloca cada 25 cm, se colocan dejando 12.50 cm a cada lado, por lo que en un metro cuadrado habrá:
2. At = 5φN° 6 por metro lineal.
3. Longitud total de acero de temperatura = 5 m
4. Cantidad total de acero de temperatura por 1 ml = 5 mx0.250 Kg/m = 1.25 Kg
5. Precio de una varilla de N° 6 por 9 m = S/. 6.16
6. Precio por Kg de una varilla de N° 6 = S/. 2.74

**b) Análisis de Costos Unitarios por m<sup>2</sup>**

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA   |               |  |                             |  |
|---|---------------|--|-----------------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERÍA  |               |  |                             |  |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |               |  |                             |  |
| ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA TESIS DE COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS |               |  |                             |  |
| TESISTA: RODRÍGUEZ CHÁVARRY, Andersson Nielser Nilthony   |               |  |                             |  |
| Partida: Encofrado de Losa Colaborante  |               |  |                             |  |
|   |               |  | <b>COSTO UNITARIO TOTAL</b> | <b>S/. 147.43</b>                                |
| <b>Especificaciones</b>   |               | Placa colaborante AD-600   |                             |  |
| <b>Cuadrilla</b>  |               | <b>Rendimiento</b>   |                             | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 79.02</b> |
| Habilitación: 1 oficial + 2 peones  |               | 70.00  | m2/día                      |  |
| Encofrado: 1 capataz + 1 operario + 1 oficial   |               | 15.00  | m2/día                      |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>  | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b>               | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>   |               |  |                             | <b>19.93</b>                                     |
| Capataz   | hh            | 0.267  | 14.80                       | 3.95   |
| Operario  | hh            | 0.533  | 12.50                       | 6.67   |
| Oficial   | hh            | 0.648  | 11.00                       | 7.12   |
| Peón  | hh            | 0.229  | 9.60                        | 2.19   |
| <b>MATERIALES</b>   |               |  |                             | <b>58.49</b>                                     |
| Placa AD-600  | m2            | 1.00   | 54.50                       | 54.50  |
| Conectores de Corte   | Unidad        | 4.00   | 0.70                        | 2.80   |
| Alambre recocido  | Kg            | 0.22   | 5.40                        | 1.19   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>  |               |  |                             | <b>0.60</b>                                      |
| Herramientas manuales   | %MO           | 0.030  | 19.93                       | 0.60   |
| <b>Partida: Colocación de Acero Grado 60</b>  |               |  |                             |  |
| <b>Especificaciones</b>   |               | Acero corrugado grado 60 de $\phi$ 3/8" por 9.00 m cortado con cizalla |                             |  |
| <b>Cuadrilla</b>  |               | <b>Rendimiento</b>   |                             | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 20.98</b> |
| Habilitación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial   |               | 240.00   | Kg/día                      |  |
| Colocación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial   |               | 240.00   | Kg/día                      |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>  | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b>               | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>   |               |  |                             | <b>1.67</b>                                      |
| Capataz   | hh            | 0.007  | 14.80                       | 0.10   |
| Operario  | hh            | 0.067  | 12.50                       | 0.83   |
| Oficial   | hh            | 0.067  | 11.00                       | 0.73   |
| <b>MATERIALES</b>   |               |  |                             | <b>19.25</b>                                     |
| Acero corrugado $\phi$ 3/8  | Kg            | 5.94   | 3.14                        | 18.65  |
| Alambre negro N° 16   | Kg            | 0.11   | 5.40                        | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>  |               |  |                             | <b>0.07</b>                                      |

|  |               |                                       |               |  |
|--|---------------|---------------------------------------|---------------|--|
| Cizalla  | hm            | 0.032                                 | 0.50          | 0.016  |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.030                                 | 1.67          | 0.050  |
| <b>Partida: Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2 para losas y vigas</b> |               |                                       |               |  |
| <b>Especificaciones</b>  |               | Camión concretero, bomba y vibradores |               |  |
| <b>Cuadrilla</b>   |               | <b>Rendimiento</b>                    |               | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 47.44</b> |
| Vaciado: 1 capataz + 4 operario + 8 peones                               |               | 100.00                                | m3/día        |  |
| Curado: 0.10 capataz + 1 peón  |               | 100.00                                | m3/día        |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>   | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>                       | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>  |               |                                       |               | <b>12.21</b>                                     |
| Capataz  | hh            | 0.088                                 | 14.80         | 1.30   |
| Operario   | hh            | 0.320                                 | 12.50         | 4.00   |
| Peón   | hh            | 0.720                                 | 9.60          | 6.91   |
| <b>MATERIALES</b>  |               |                                       |               | <b>31.62</b>                                     |
| Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2                                    | m3            | 0.093                                 | 340.00        | 31.62  |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>   |               |                                       |               | <b>3.60</b>                                      |
| Bomba (1)  | hm            | 0.080                                 | 23.50         | 1.88   |
| Vibradores de 2", 4HP (2)  | hm            | 0.160                                 | 8.47          | 1.36   |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.030                                 | 12.21         | 0.37   |

Fuente: Elaboración Propia

- ✓ El precio de la placa colaborante ha sido obtenido de Acero – Deck.
- ✓ El precio del concreto f'c = 210 Kg/cm2, es un concreto premezclado y ha sido obtenido de DINO.
- ✓ El precio del acero corrugado ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El costo total en soles por m2 de losa colaborante es: S/. 147.43
- ✓ El costo total de mano de obra es: S/. 33.81
- ✓ El costo total de materiales es: S/. 109.35
- ✓ El costo total de equipo y herramientas es: S/. 4.27

### 8.1.5. COMPARACIÓN EN LOS COSTOS POR m<sup>2</sup> DE MATERIALES, MANO DE OBRA E INSUMOS EN LAS LOSAS

#### a) Ladrillo para techo

En el siguiente gráfico se muestra la cantidad de ladrillo por m<sup>2</sup> para cada tipo de losa. Siendo el caso que en la losa colaborante no se utiliza ladrillo hueco, ese valor es de cero.

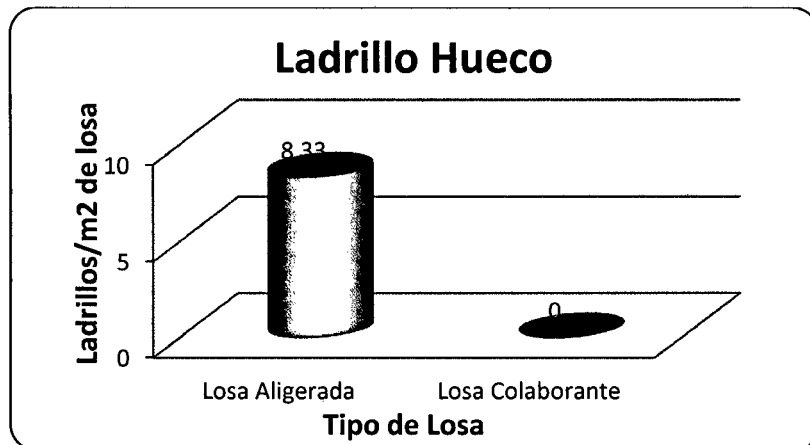


Figura 8. 13: Ladrillo hueco en losas (elaboración propia).  
Fuente: Elaboración propia.

**b) Acero positivo**

El acero positivo en el caso del aligerado se encuentra a todo lo largo de la vigueta, ya que se ha considerado como un elemento simplemente apoyado. Sin embargo, en el caso de la losa colaborante el acero positivo es dado por la placa colaborante que también actúa como encofrado.

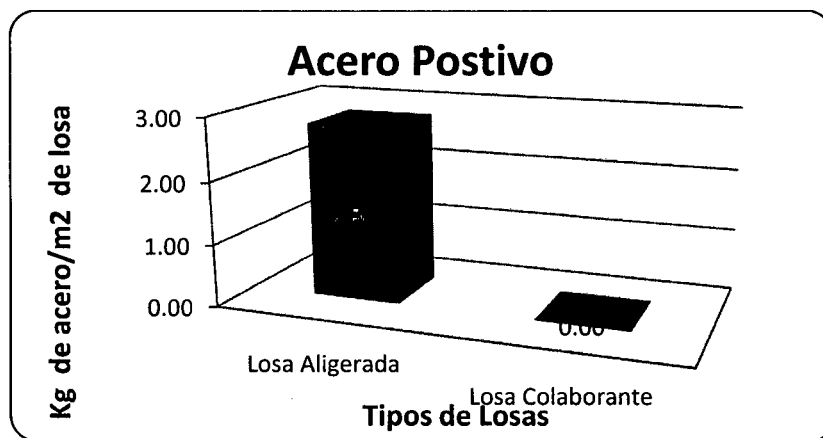


Figura 8. 14: Acero positivo en losas (elaboración propia).  
Fuente: Elaboración propia.

**c) Acero negativo**

El acero negativo es el que se encuentra en los apoyos, ya que se está considerando a ambos sistemas de las losas como miembros construidos

monolíticamente con sus apoyos. El acero negativo es el mismo en los apoyos para cada tipo de losa, por ello no existe variación.

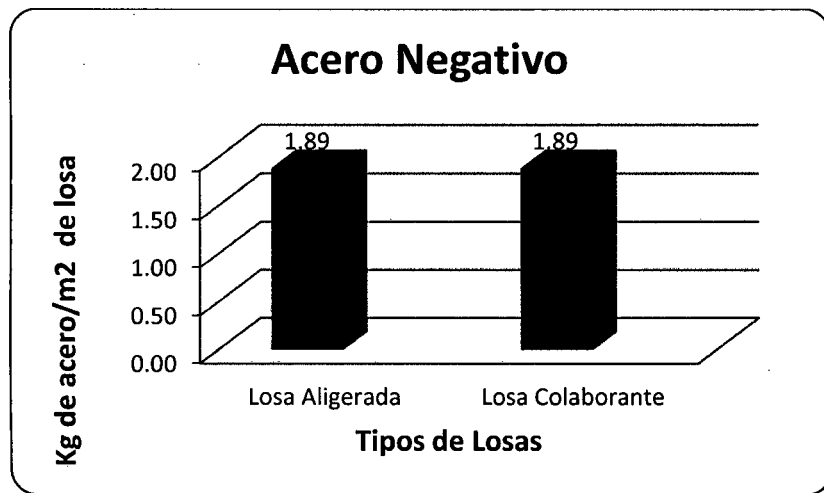


Figura 8. 15: Acero negativo en losas (elaboración propia).  
Fuente: Elaboración propia.

**d) Acero de temperatura**

La cantidad de acero de temperatura por m<sup>2</sup> de losa, es el mismo en ambos casos. Esto debido a que el espesor de la losita es similar en ambos casos.

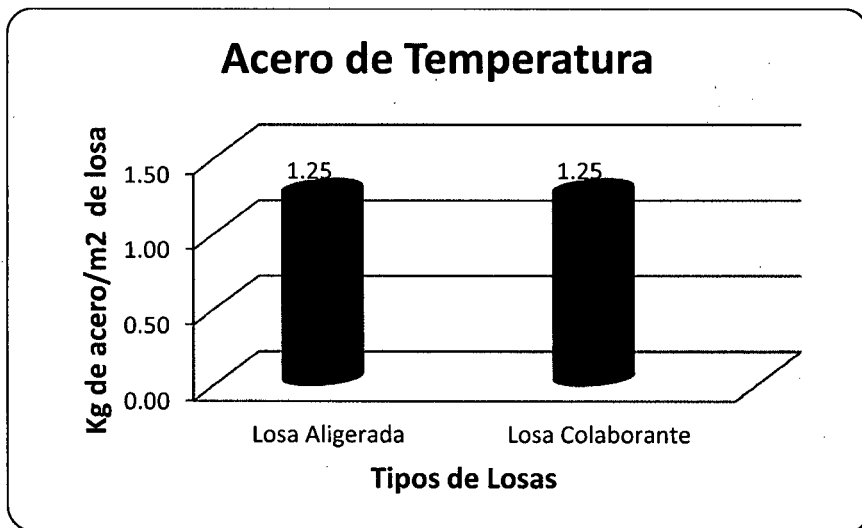


Figura 8. 16: Acero de temperatura en losas (elaboración propia).  
Fuente: Elaboración propia.

**e) Concreto**

Si comparamos la cantidad de concreto que usaríamos en una losa aligerada con el sistema de losa colaborante, se puede obtener una diferencia de concreto a



usar aproximadamente 13.98%. El sistema compuesto con láminas colaborantes utiliza mayor cantidad de concreto, pero no requieren de trabajos posteriores de cielorraso. Además, el sistema con láminas colaborantes facilitan la tarea de encofrado y desencofrado.

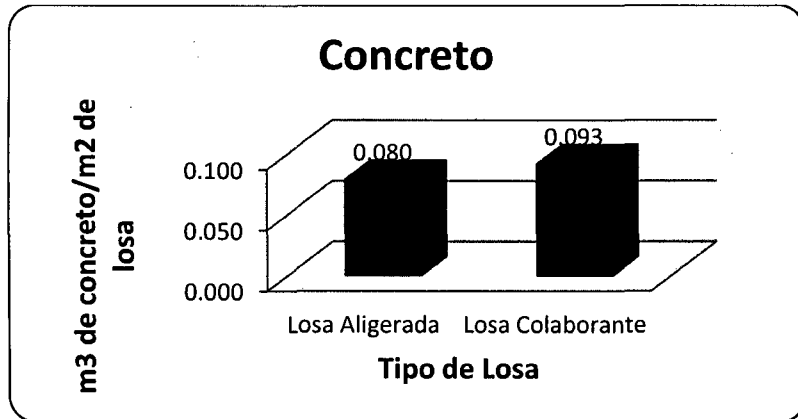


Figura 8. 17: Concreto en losas.  
Fuente: Elaboración propia.

#### f) Peso propio

En el gráfico representamos los valores del peso propio de una losa aligerada con un espesor de 17 cm y del sistema de losa colaborante para un espesor de 13 cm. El sistema de losas compuestas con láminas colaborantes posee pesos propios menores en un 17.03% con respecto a las losas aligeradas.

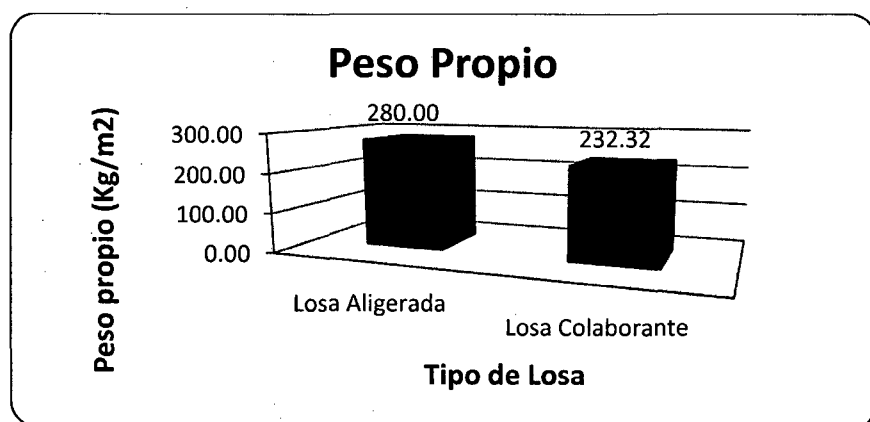


Figura 8. 18: Peso propio en losas.  
Fuente: Elaboración propia.

**g) Costo de mano de obra por m<sup>2</sup>**

Se observa un aumento de 18.37 soles en el costo de la mano de obra, comparando la losa aligerada con la losa colaborante, esto se debe a la variación en los rendimientos de las partidas tomadas en cuenta en el análisis de costos unitarios.

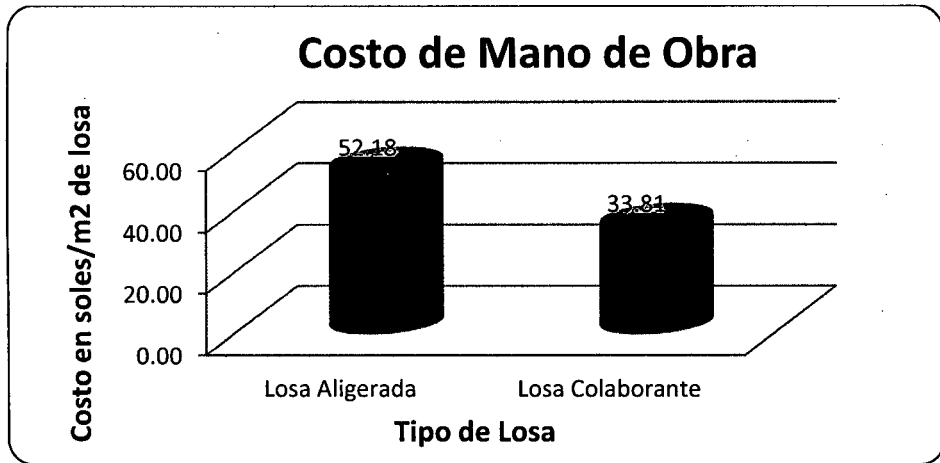


Figura 8. 19: Costo de mano de obra.  
Fuente: Elaboración propia.

**h) Costo total de materiales**

Se aprecia un aumento de 4.68 soles en los materiales utilizados en las losas colaborante y aligerada.

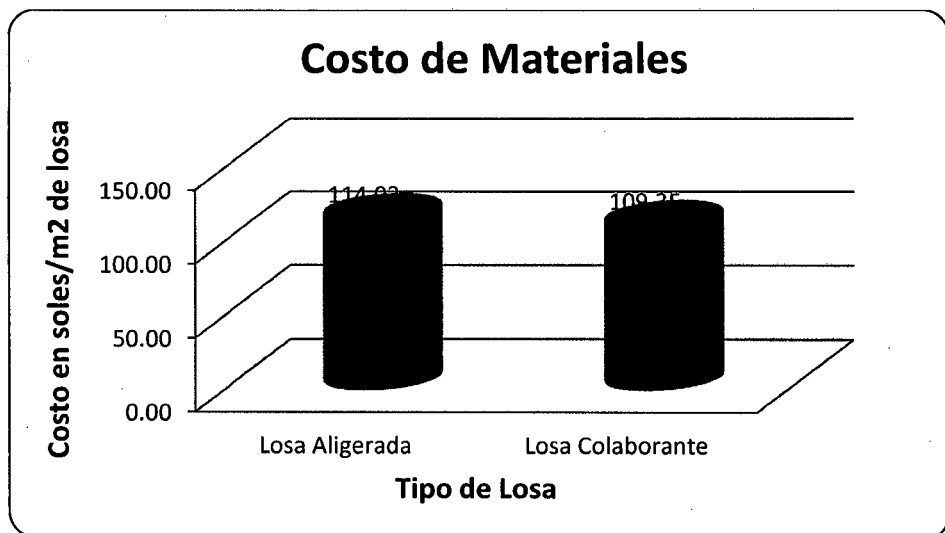


Figura 8. 20: Costo de mano de obra.  
Fuente: Elaboración propia.

### i) Costo total por m<sup>2</sup>

Se muestra el costo por metro cuadrado de cada sistema. El análisis realizado incluye el costo de mano de obra, materiales, equipos, herramientas y rendimientos, pero no se considera el cielo raso y ni el enlucido. En la figura 8.19 se puede observar el mayor costo de la losa aligerada en S/. 23.60, que representa un 13.80 %.

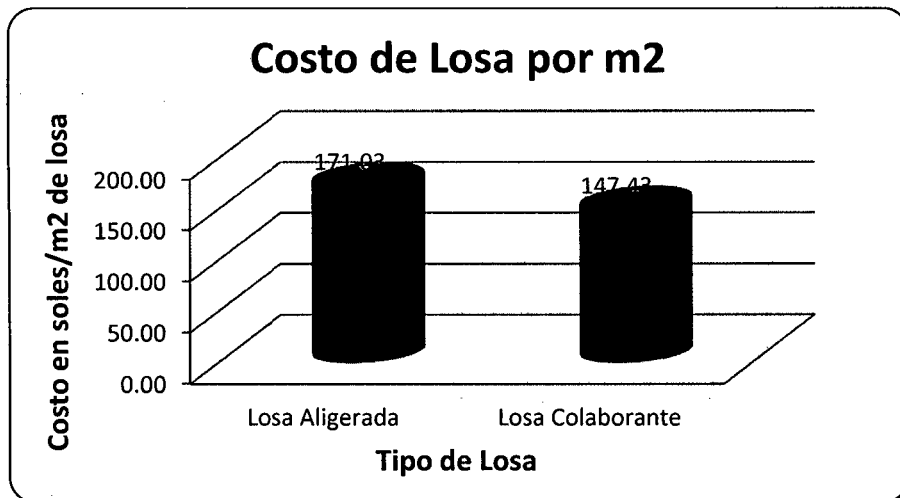


Figura 8. 21: Costo total por m<sup>2</sup> en losas (elaboración propia).  
Fuente: Elaboración propia.

## 8.2. ANEXO II: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este estudio se realizó un análisis por teoría de vigas convencionales de concreto armado y el modelamiento en un software de análisis estructural para determinar las deformaciones y esfuerzos que se presentan en cada losa y poder apreciar sus diferencias y similitudes. Para la losa colaborante se utilizó una plancha acero deck AD-600 como refuerzo de tracción y para el caso de la losa aligerada se utilizó acero corrugado. En el presente capítulo y luego de llevar a cabo el estudio se contrasta los resultados de los resultados teóricos y del modelamiento en SAP2000.

### 8.2.1. RESULTADOS DE DEFLEXIONES EN LAS LOSAS MODELADAS EN SAP2000

### a) Deflexiones Inmediatas

Se realizó el cálculo de las deflexiones inmediatas debido a la carga muerta más aumentos incrementales de  $50 \text{ Kg/m}^2$  para la carga viva empezando de 0 hasta llegar a la sobrecarga de  $200 \text{ Kg/m}^2$ .

- ✓ De la incorporación incremental de cargas al modelo en el software de análisis estructural SAP2000 es posible obtener las siguientes tablas para cada tipo de losa:

| SAP2000                   |                                    |                  |                       |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Losa Aligerada (h = 17cm) |                                    |                  |                       |
| Carga ( $\text{Kg/m}^2$ ) | $\Delta$ carga ( $\text{Kg/m}^2$ ) | Deformación (mm) | $\Delta$ Deform. (mm) |
| 0                         | 0                                  | 10.081           | -----                 |
| 50                        | 50                                 | 10.330           | 0.249                 |
| 100                       | 50                                 | 10.580           | 0.250                 |
| 150                       | 50                                 | 10.829           | 0.249                 |
| 200                       | 50                                 | 11.080           | 0.251                 |

| SAP2000                            |                                     |                  |                       |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Losa Colaborante con Perfil AD-600 |                                     |                  |                       |
| Carga ( $\text{Kg/cm}^2$ )         | $\Delta$ carga ( $\text{Kg/cm}^2$ ) | Deformación (mm) | $\Delta$ Deform. (mm) |
| 0                                  | 0                                   | 1.293            | -----                 |
| 50                                 | 50                                  | 1.576            | 0.283                 |
| 100                                | 50                                  | 1.859            | 0.283                 |
| 150                                | 50                                  | 2.142            | 0.283                 |
| 200                                | 50                                  | 2.425            | 0.283                 |

- ✓ Donde es posible apreciar que a igual incremento de carga, el incremento de deformación se hace constante, esto es por la naturaleza del análisis lineal que efectúa el software.
- ✓ Para el caso de la losa aligerada se observa que existe una variación de deformación constante de 0.249 mm en promedio, y para el caso de la losa colaborante una variación de deformación constante de 0.283 mm.
- ✓ Se puede observar que al realizar una comparación de la deformación inmediata entre ambos sistemas existe una variación de 8.66 mm.
- ✓ Se puede observar que ambos sistemas cumplen con la deformación máxima instantánea de acuerdo a la norma peruana, ya que esta es de 19.4 mm, y las

deformaciones son de 11.08 mm y 2.425 mm para la losa aligerada y para la losa colaborante respectivamente.

### b) Deflexiones Diferidas

Se realizó la incorporación incremental de cargas vivas al modelo en el software de análisis estructural SAP2000 y se obtuvo la siguiente tabla con las deflexiones diferidas para cada tipo de losa:

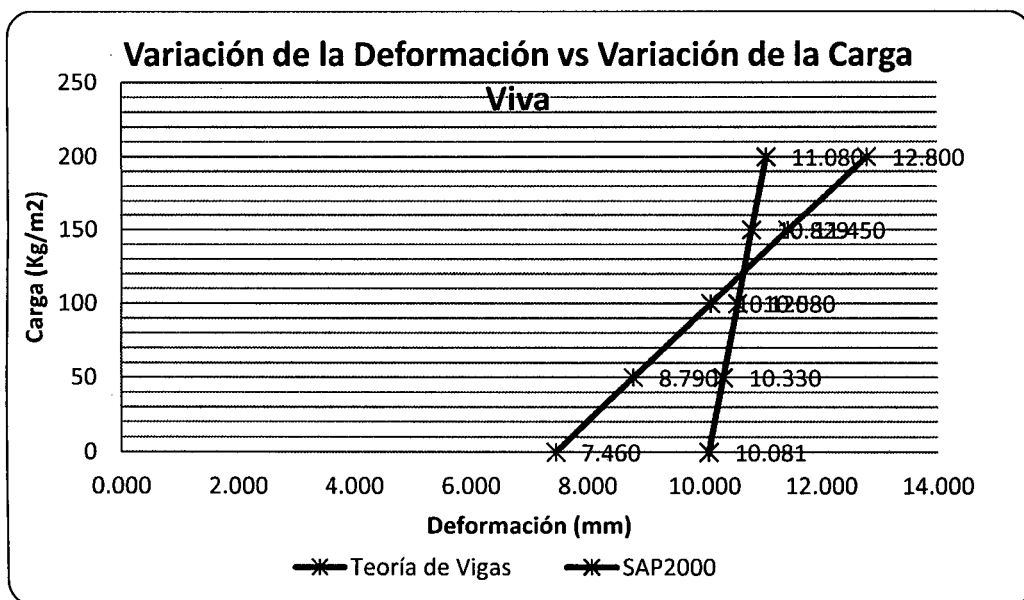
| Tipo de Losa                       | Deflexión Diferida (cm) |
|------------------------------------|-------------------------|
| Losa Aligerada (h = 17cm)          | 1.44                    |
| Losa Colaborante con Perfil AD-600 | 0.49                    |

- ✓ Se consideró la mitad de la carga viva como carga permanente.
- ✓ Se puede observar que ambos valores cumplen con el valor de 1.46 cm, que es el valor dado por la norma NTE-E.060.

## 8.2.2. COMPARACIÓN DE DEFLEXIONES

### a) Losa Aligerada

En el caso de la losa aligerada se obtuvo el siguiente comportamiento:



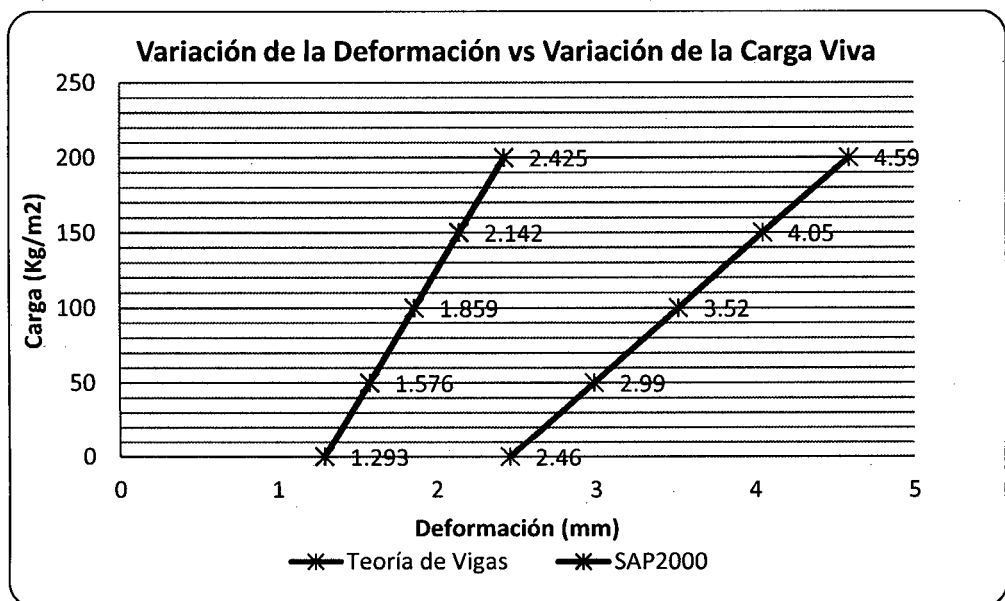
- ✓ Se observa el comportamiento lineal de la losa modelada en SAP2000, y lo conservador de los resultados del diseño con teoría de vigas convencional, ya

que nos muestra un aumento de las deformaciones para los mismos incrementos de carga.

- ✓ Al tomar los valores para la carga viva de 200 Kg/m<sup>2</sup> se puede observar que hay una variación de 1.72 mm en la deformación calculada mediante la teoría de vigas y el modelo hecho en SAP2000.
- ✓ Se puede observar que existe un poco variación de las deflexiones por variación en los incrementos de carga. Esta variación podría deberse a que en el análisis de una losa aligerada por el método tradicional se considera el peso del ladrillo, en cambio en el software SAP200, el cálculo del peso propio es automático.

### b) Losa Colaborante

En el caso de la losa colaborante se obtuvo el siguiente comportamiento:



- ✓ Se observa nuevamente el comportamiento lineal de la losa modelada en SAP2000, y lo conservador de los resultados del diseño mediante la teoría de vigas convencional en comparación con los resultados obtenidos con SAP2000, ya que nos muestra mayores valores para los mismos incrementos de carga.
- ✓ En el caso de la losa colaborante al tomar los valores para la carga viva de 200 Kg/m<sup>2</sup> se puede observar que hay una variación de 2.17 mm en la deformación calculada mediante la teoría de vigas y el modelo hecho en SAP2000.

- ✓ Se puede observar que para el caso de la losa colaborante no existe gran variación en las deflexiones debido a los incrementos de carga, esto se debe a que la placa y el concreto tienen un ancho tributario uniforme.
- ✓ Se puede observar un comportamiento similar y no tan diferente de acuerdo a los dos análisis realizados.

### c) Comparación de Resultados entre Ambos Sistemas

- ✓ De los gráficos anteriores se puede observar que utilizando la teoría de vigas las deflexiones calculadas para ambos sistemas de losas varían, existiendo una diferencia de 8.21 mm entre ambos valores, mm para una carga viva de 200 Kg/m<sup>2</sup>.
- ✓ Se puede observar que modelando las estructuras en SAP2000 las deflexiones calculadas para el caso de la losa colaborante varían con las deflexiones calculadas para la losa aligerada, existiendo una diferencia de 8.66 mm para una carga viva de 200 Kg/m<sup>2</sup>.
- ✓ Se distingue el comportamiento lineal que tienen ambos sistemas, esto debido a que considera que los materiales trabajan dentro de un rango elástico lineal.
- ✓ En ambos casos se puede observar que las variaciones existentes en las deflexiones obtenidas por el método de vigas tradicional y el modelado en SAP2000 no tienen un rango muy amplio de variación, ya que varían 2.17 mm y 1.72 mm para la losa colaborante y la losa aligerada respectivamente.

### 8.2.3. ESFUERZOS RESISTIDOS POR CADA SISTEMA

- ✓ El momento resistente por la losa aligerada es de 735.18 Kg-m que es mayor que el valor 448.35 Kg-m que es el momento requerido.
- ✓ El momento resistente por la losa colaborante es de 2145.89 Kg-m que es mayor que el valor 916.79 Kg-m que es el momento requerido.
- ✓ Se puede observar que el momento resistente de la losa colaborante es mayor que el momento resistente de la losa aligerada: 2145.89 Kg-m > 735.18 Kg-m
- ✓ El valor de cortante resistente por la losa aligerada es de 913.97 Kg y es mayor que el cortante requerido de 512.40 Kg.

- ✓ El valor de cortante resistente por la losa colaborante es de 5299.10 Kg y es mayor que el cortante requerido de 1047.76 Kg.
- ✓ Se puede observar que el cortante resistente de la losa colaborante es mayor que el cortante resistente de la losa aligerada: 5299.10 Kg-m > 913.97 Kg-m
- ✓ Observamos que la losa colaborante es capaz de resistir mayores esfuerzos para las mismas sollicitaciones de carga.

#### 8.2.4. COMPARACIÓN DE PRECIOS DE AMBOS SISTEMAS

- ✓ Del análisis de costos unitarios por m<sup>2</sup>, en el cual se consideró rendimientos, mano de obra, materiales, equipo y herramientas; se obtuvieron los siguientes costos para cada sistema:

| Tipo de Losa     | Cantidad       | Costo total (S/.) |
|------------------|----------------|-------------------|
| Losa Aligerada   | m <sup>2</sup> | 171.03            |
| Losa Colaborante | m <sup>2</sup> | 147.43            |
| Diferencia       | m <sup>2</sup> | 23.60             |

- ✓ Se puede observar que existe una diferencia de S/. 23.60 por m<sup>2</sup>, es decir el m<sup>2</sup> de losa colaborante es más barato que el m<sup>2</sup> de losa aligerada.
- ✓ El sistema de losa colaborante es más barato es un porcentaje de 13.80% en comparación de la losa aligerada, considerando que la losa aligerada tendrá ladrillo de arcilla y una distancia entre viguetas y nacho tributario de 40 cm, y la losa colaborante un ancho tributario de 90 cm.

| Tipo de Losa \ Insumos          | Mano de Obra | Materiales | Equipo y Herramientas |
|---------------------------------|--------------|------------|-----------------------|
| Costo en Losa Aligerada (S/.)   | 52.18        | 114.03     | 4.82                  |
| Costo en Losa Colaborante (S/.) | 33.81        | 109.35     | 4.27                  |

- ✓ Se puede observar un aumento de S/. 18.37 en el costo de la mano de obra en la losa aligerada, esto se debe a la variación de rendimientos de los costos unitarios y también debido a que no hay desencofrado en la losa colaborante.



- ✓ Existe un aumento de S/. 4.68 en el costo de los materiales, esto debido a que ambos sistemas tienen algunos materiales diferentes y con diferentes rendimientos.
- ✓ En los equipos y herramientas no existe una gran variación, esto debido a que dependen de los rendimientos, materiales y mano de obra.

### 8.2.5. COMPARACIÓN DE PESOS DE AMBOS SISTEMAS

- ✓ El peso propio de una losa aligerada con un espesor de 17 cm es de  $280 \text{ Kg/m}^2$ , y el peso propio del sistema de entrepiso compuesto con láminas colaborantes de calibre 22 para un espesor de 13 cm es de  $232.32 \text{ Kg/m}^2$ . El sistema de losas compuestas con láminas colaborantes posee pesos propios menores en un 17.03% con respecto a las losas aligeradas, lo que significaría menor peso y un ahorro al realizar la cimentación y el dimensionamiento de otros elementos estructurales.
- ✓ También tiene que considerarse el ahorro de tiempo, ya que el sistema de losa colaborante no necesita encofrado debido a que la placa colaborante aparte de actuar como refuerzo positivo también actúa como encofrado. Y no se gasta tiempo en faenas de encofrado y desencofrado, como en el caso de la losa aligerada.

### 8.3. ANEXO III: LISTA DE FIGURAS

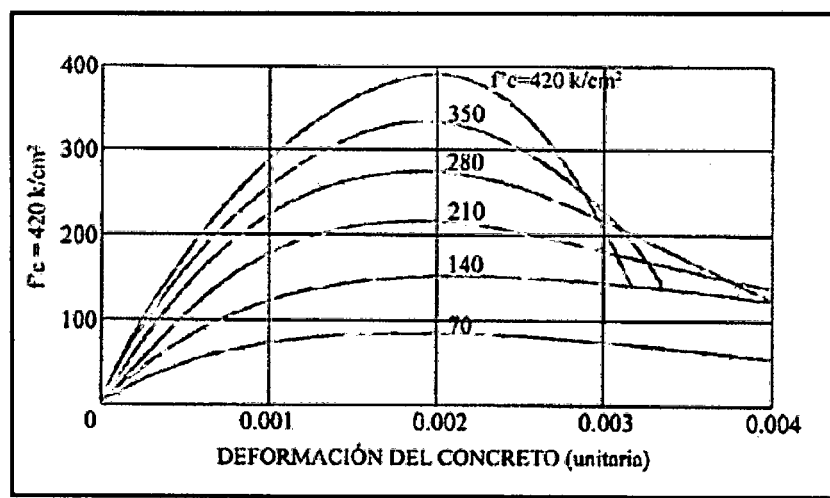


Figura 2. 1: Curva esfuerzo – deformación unitaria del concreto para diferentes resistencias en compresión (Ortega, 2014).

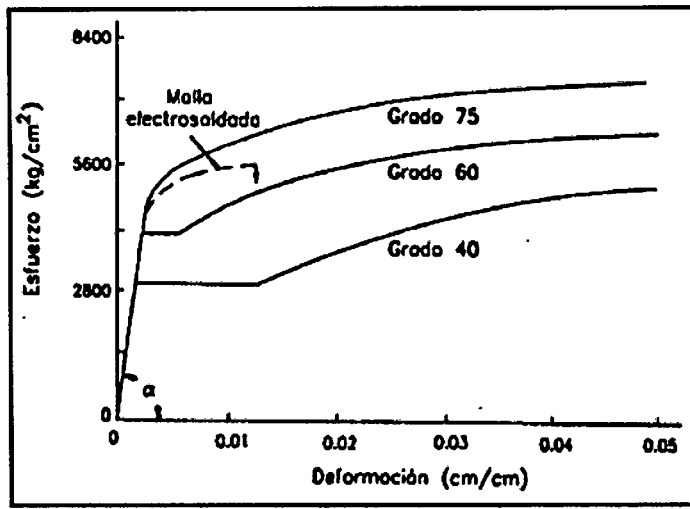


Figura 2. 2: Curva esfuerzo-deformación del acero y módulo de elasticidad del acero (Harmsen, 2005).

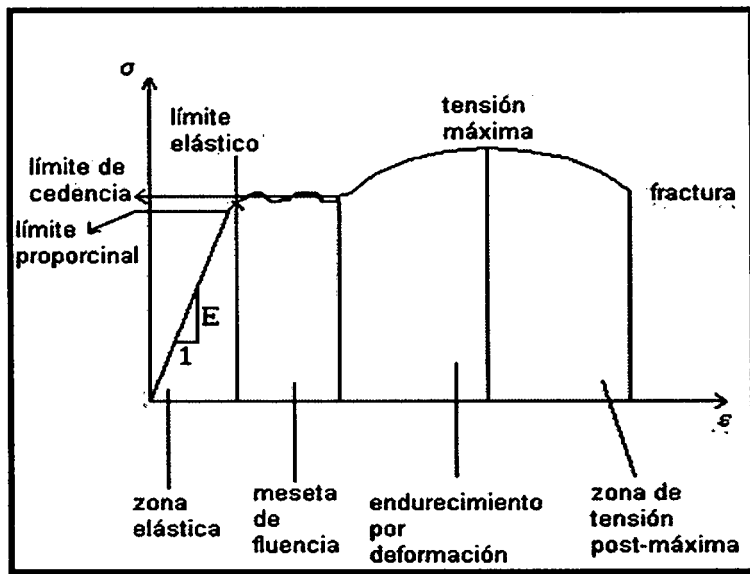


Figura 2. 3: Idealización de la curva esfuerzo – deformación para el acero en tracción o compresión (adaptado de Ortega, 2014).

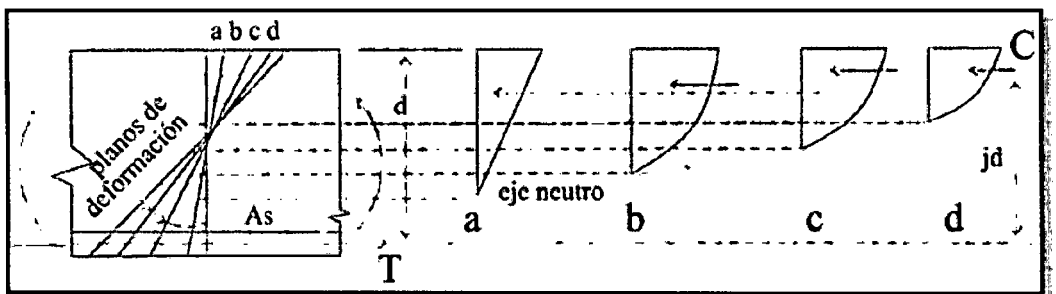


Figura 2. 4: Se muestra la distribución del esfuerzo de compresión en el concreto correspondientes a los perfiles a,b,c t d de deformación (Ortega, 2014).

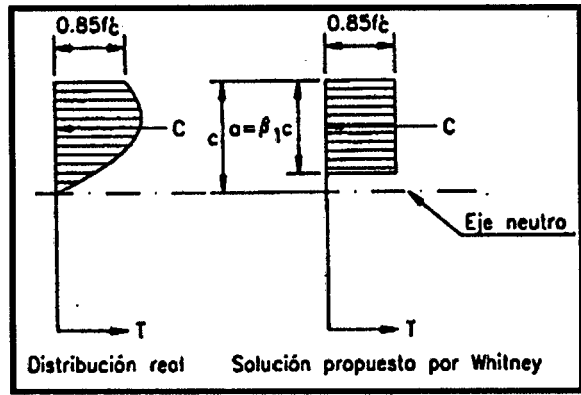


Figura 2. 5: Distribución de esfuerzos en el concreto en compresión (Harmsen, 2005).

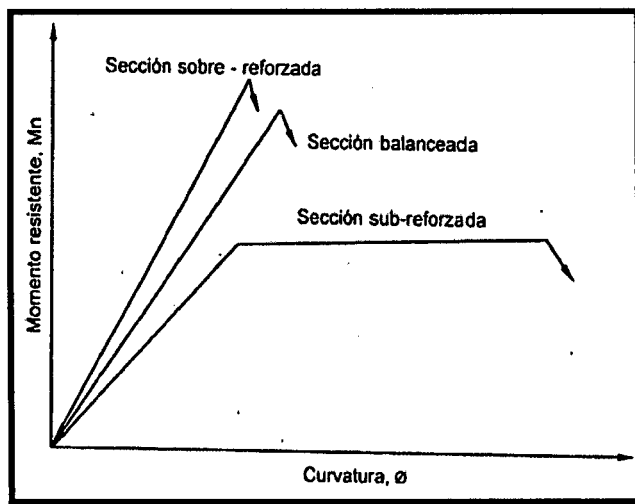


Figura 2. 6: Diagrama momento-curvatura para los diversos tipos de fallas en flexión (Harmsen, 2005).

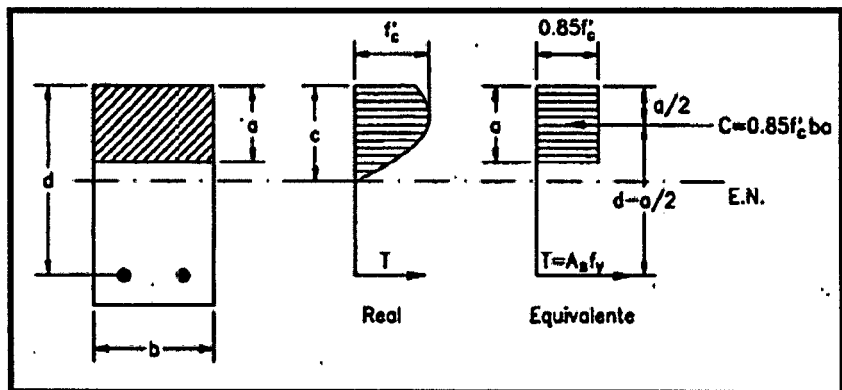


Figura 2. 7: Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión (Harmsen, 2005).

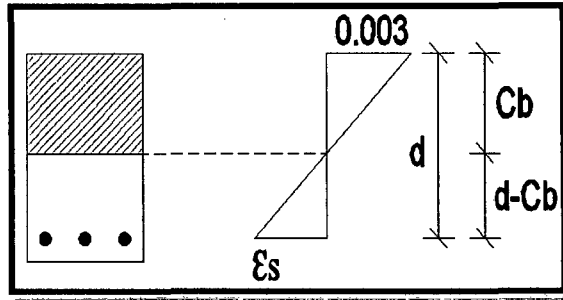


Figura 2. 8: Semejanza de triángulos para hallar  $C_b$  (adecuada de Park & Paulay, 1994).

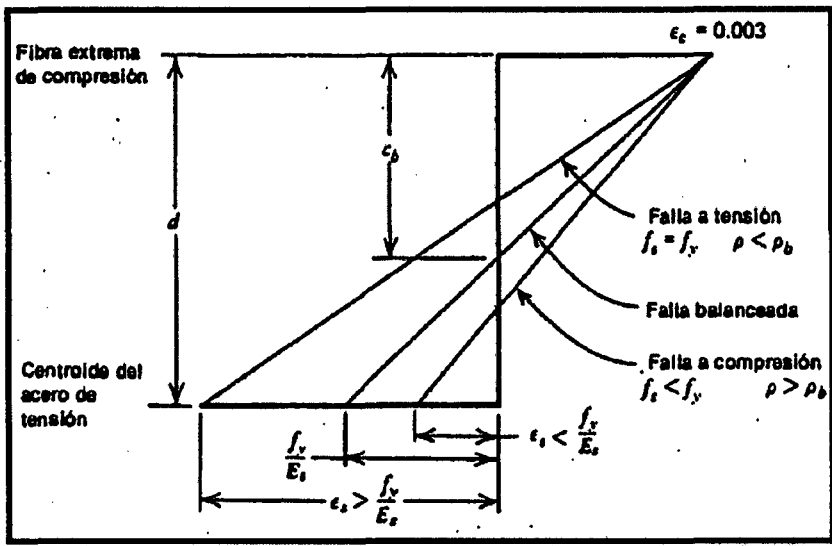


Figura 2. 9: Perfiles de deformación en la resistencia a flexión de una sección (Park & Paulay, 1994).

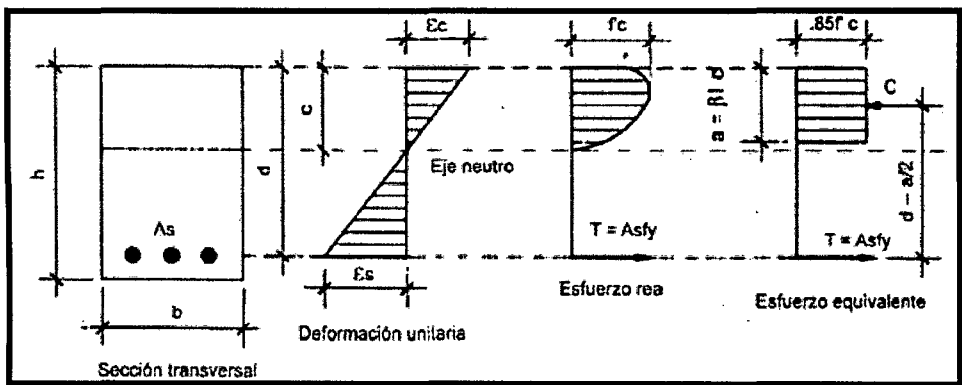


Figura 2. 10: Simplificación de una sección sometida a flexión (Blanco, 2011).

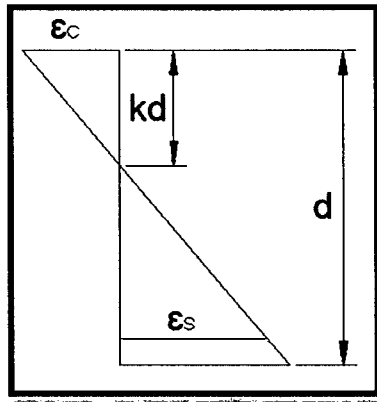


Figura 2. 11: Simplificación de las deformaciones de una viga (adecuado de Ortega, 2014).

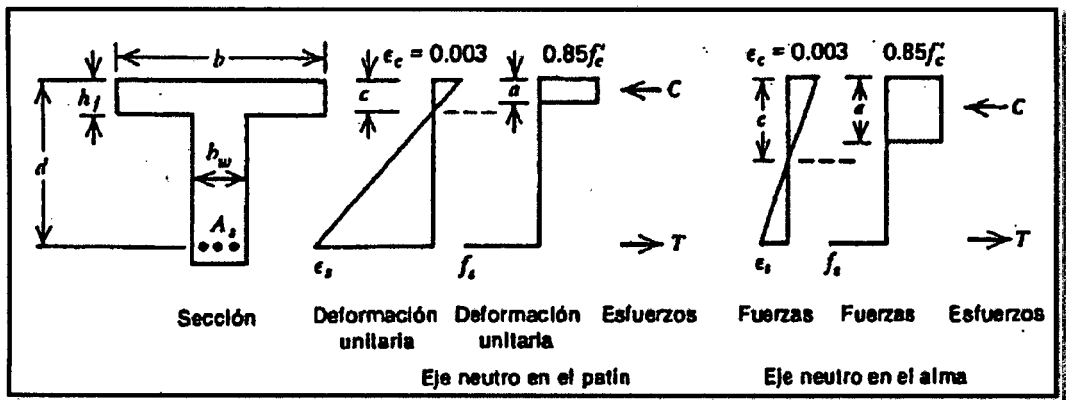


Figura 2. 12: Viga T de concreto reforzado cuando se alcanza la resistencia a flexión (Park & Paulay, 1994).

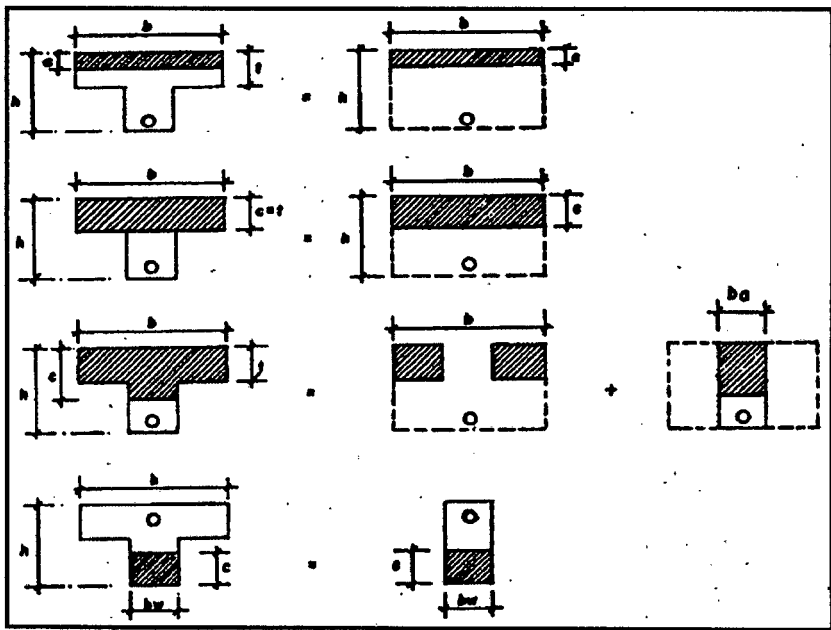


Figura 2. 13: Simplificaciones para los cuatro casos que se pueden presentar en vigas de sección T (Blanco, 2011).

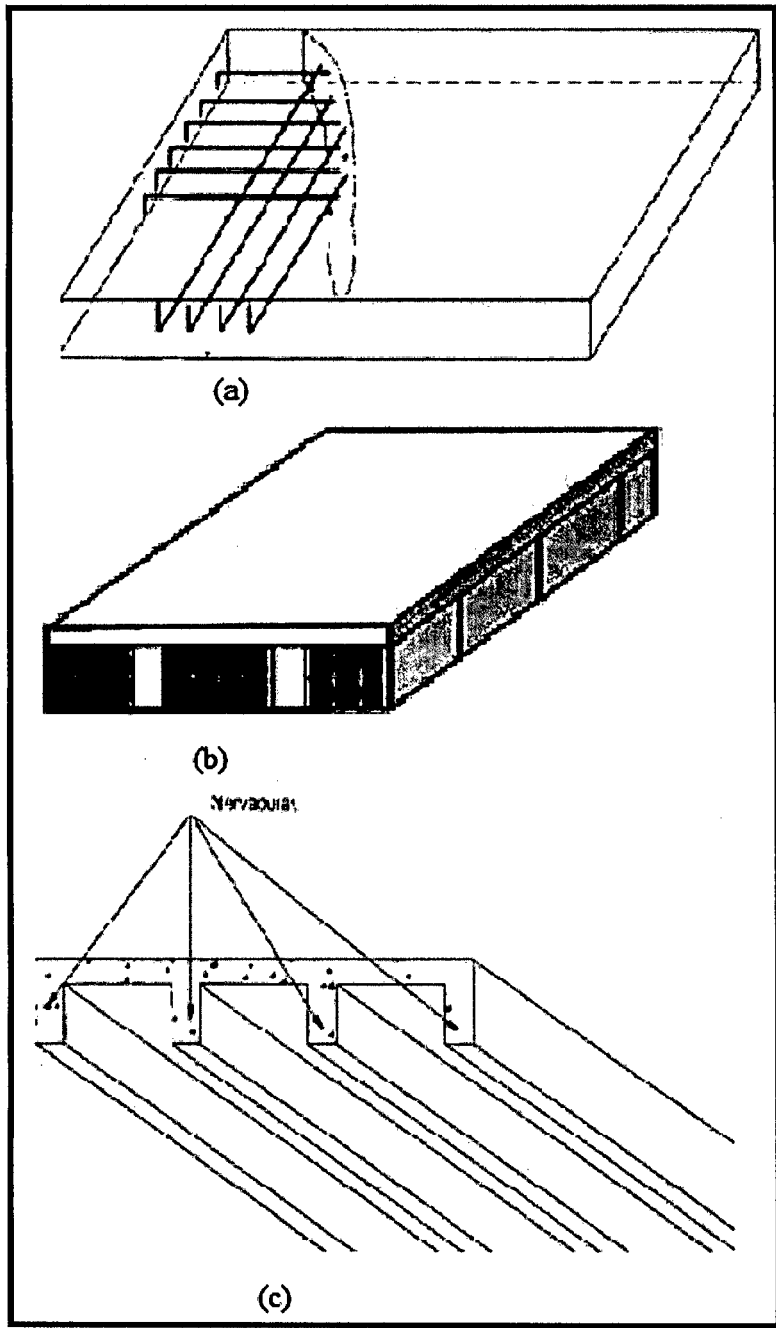


Figura 2. 14: Tipos de losas (a) losa maciza, (b) losa aligerada, (c) losa nervada (adaptado de Blanco, 2011).

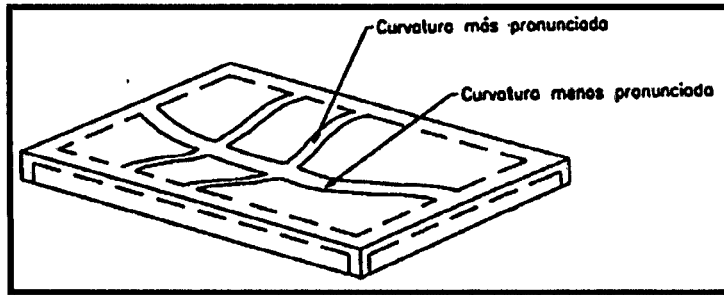


Figura 2. 15: Losa armada en una dirección (Harmsen, 2005).

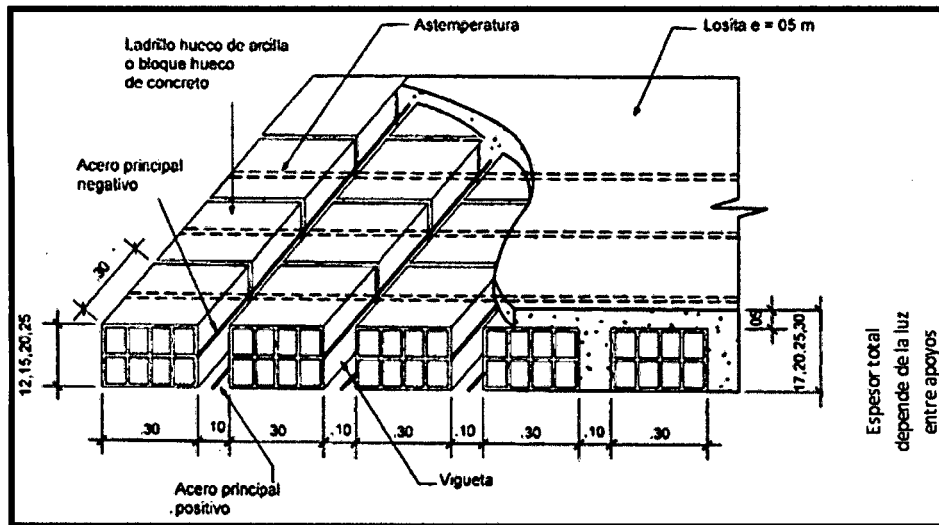


Figura 2. 16: Características geométricas de una losa aligerada en una dirección (Abanto, 2012).

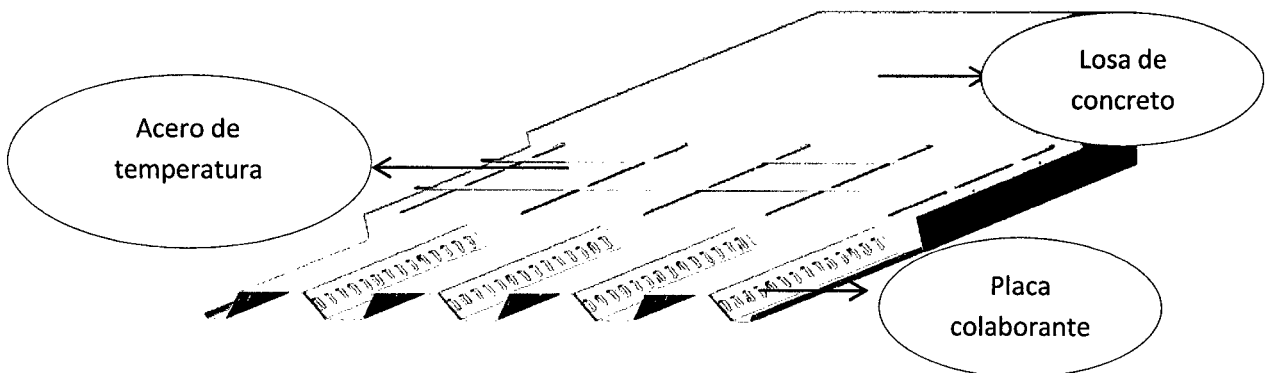


Figura 2. 17: Estructura de un sistema de losa colaborante (Ascencio, 2006)

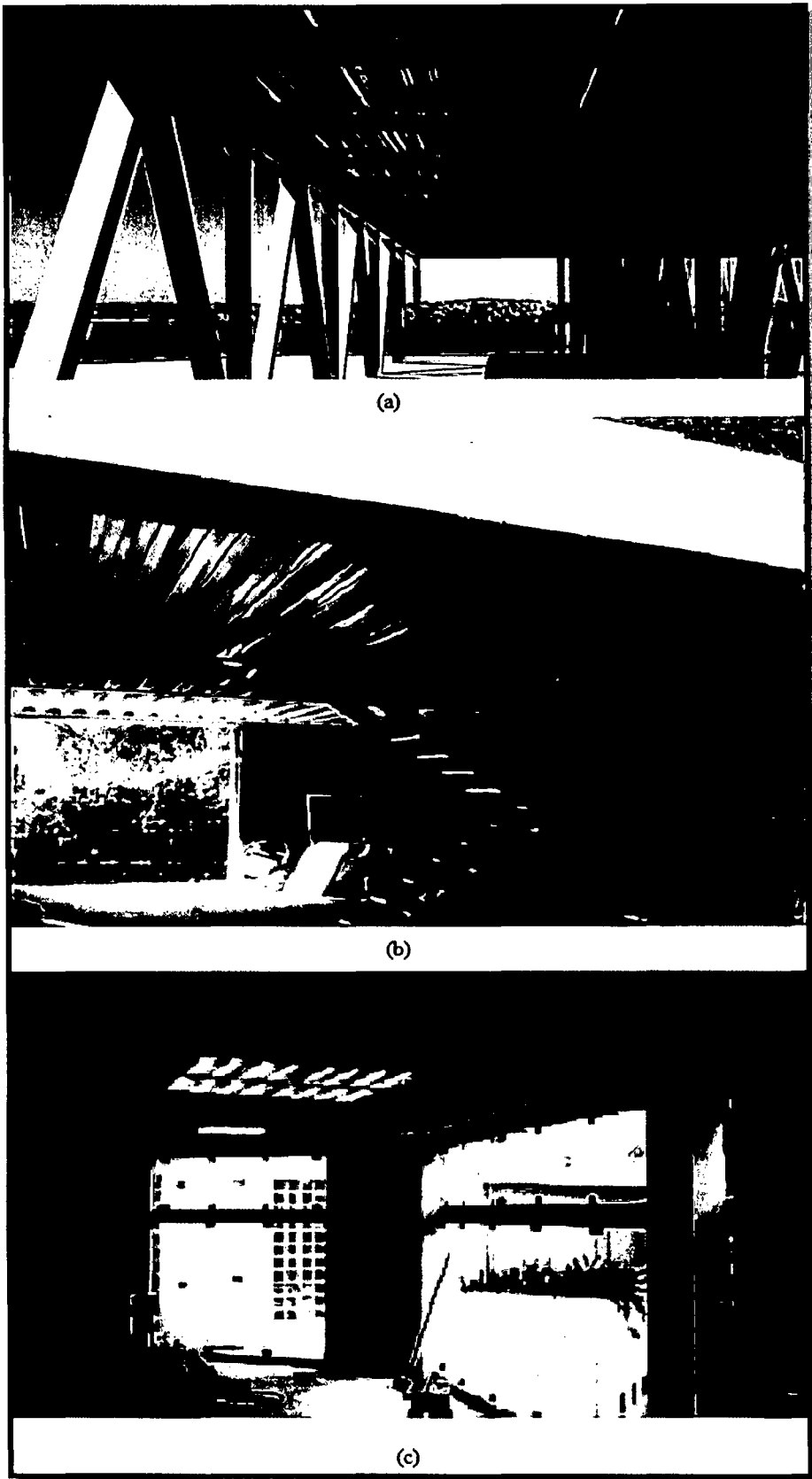


Figura 2. 18: Acabados de la losa colaborante: (a) Caravista-Centro de Remo, Lima; (b) Pintado-Vivienda en Los Olivos, Lima; (c) Con falso cielo raso, Edificio en el Centro de Lima, Lima. (Acero Deck, 2013.)



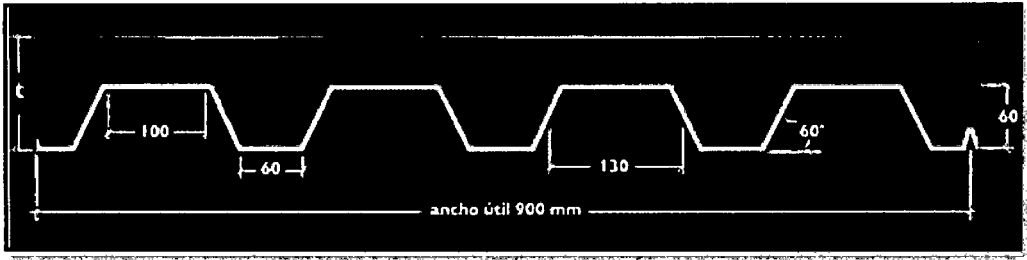


Figura 4. 1: Detalle del perfil AD-600 (Acero Deck, 2013).

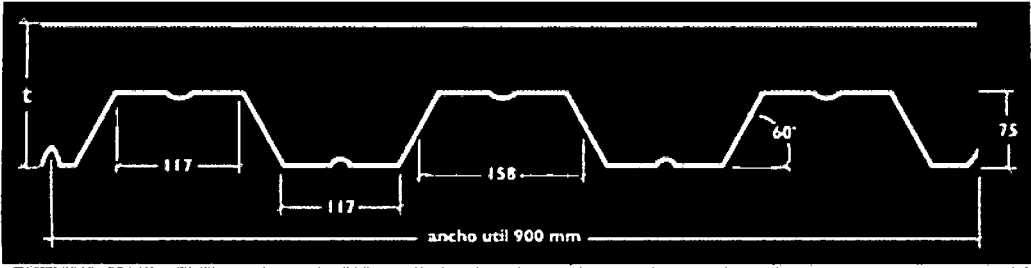


Figura 4. 2: Detalle del perfil AD-730 (Acero Deck, 2013).

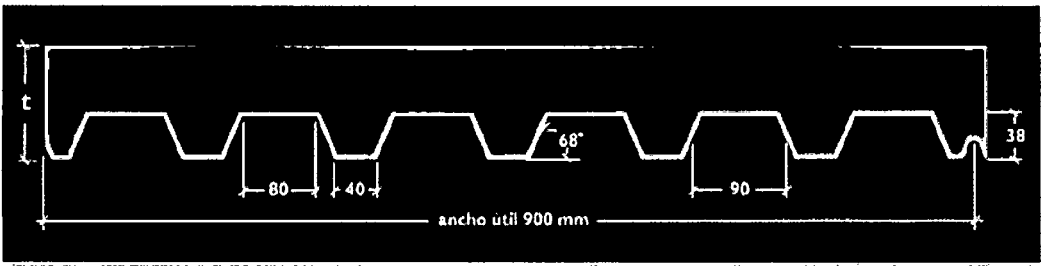


Figura 4. 3: Detalle del perfil AD-900 (Acero Deck, 2013).

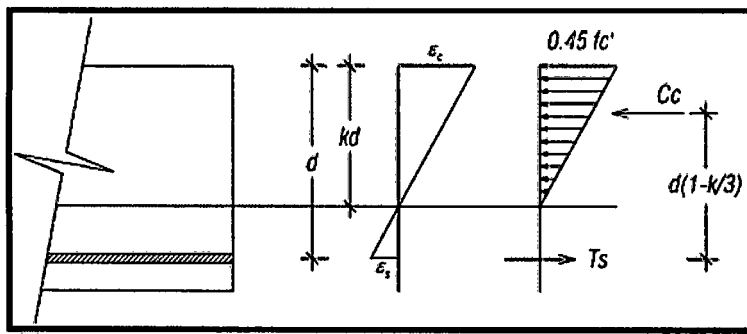


Figura 4. 4: Idealización del modelo estructural (Ascencio, 2006).

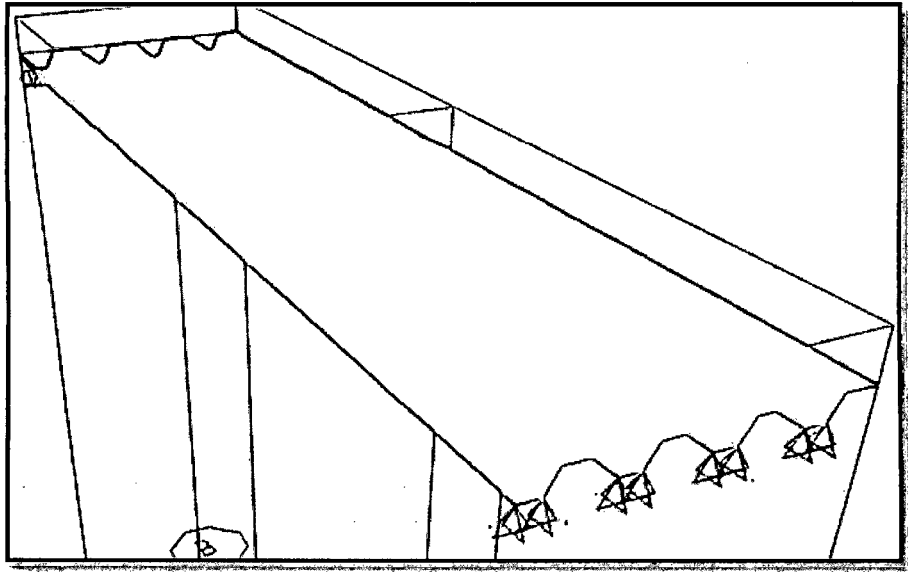


Figura 4. 5: Placa Colaborante AD-600.

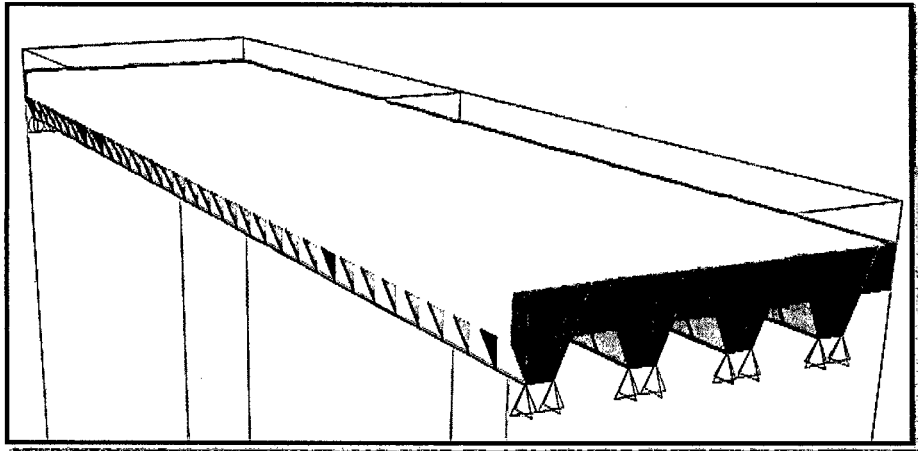


Figura 4. 6: Losa colaborante.

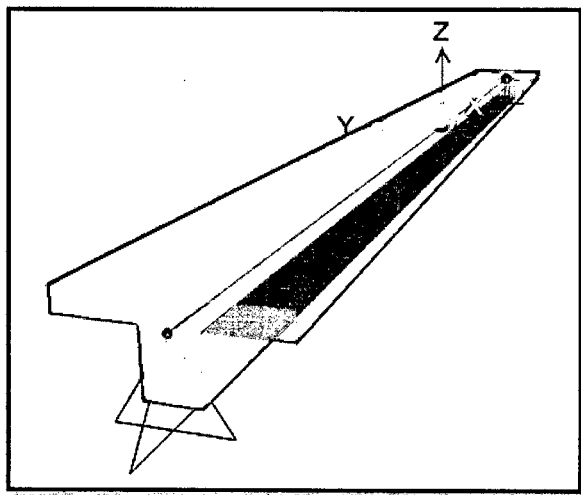


Figura 4. 7: Vigueta de losa aligerada.

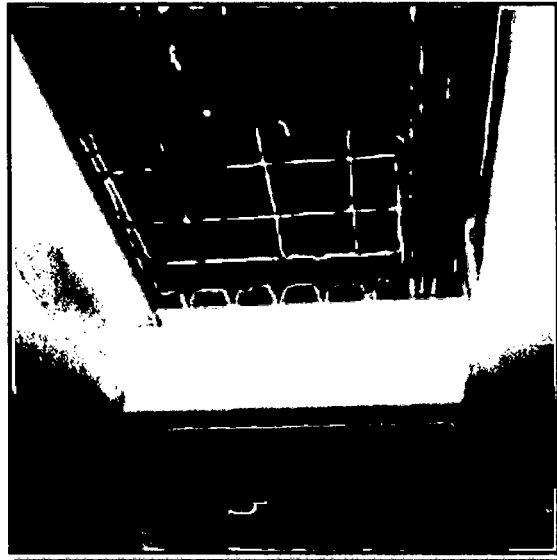


Figura 5. 1: Protección con acero de refuerzo en ductos.

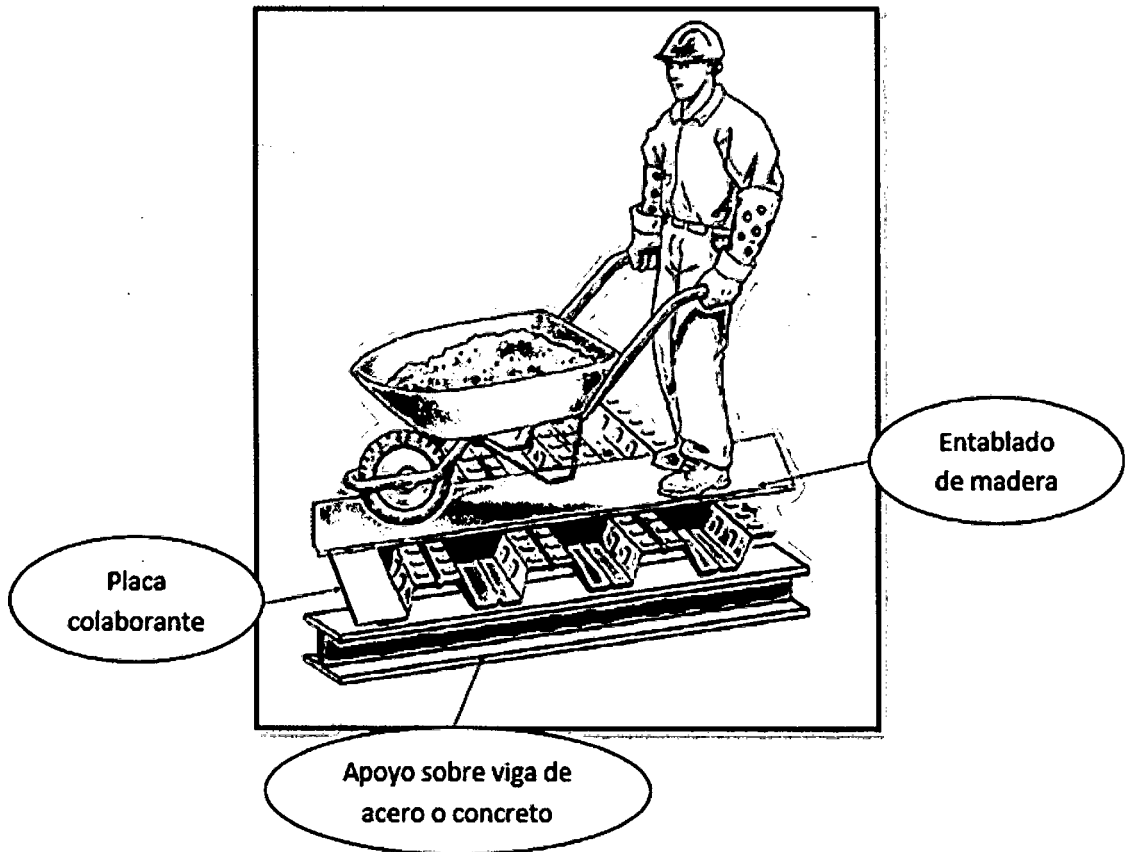


Figura 5. 2: Entablado para la protección de la placa colaborante.

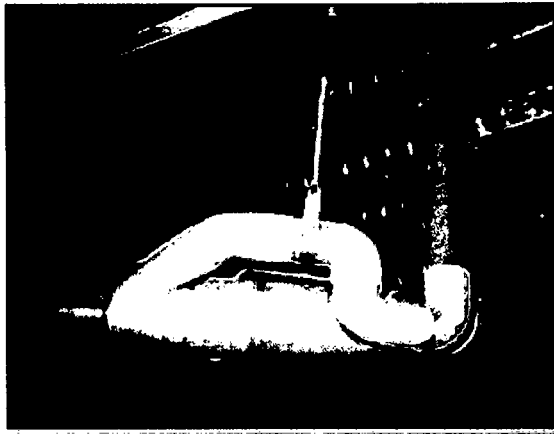


Figura 5. 3: Ejemplo de colocación de tuberías de desagüe por debajo de la losa colaborante.

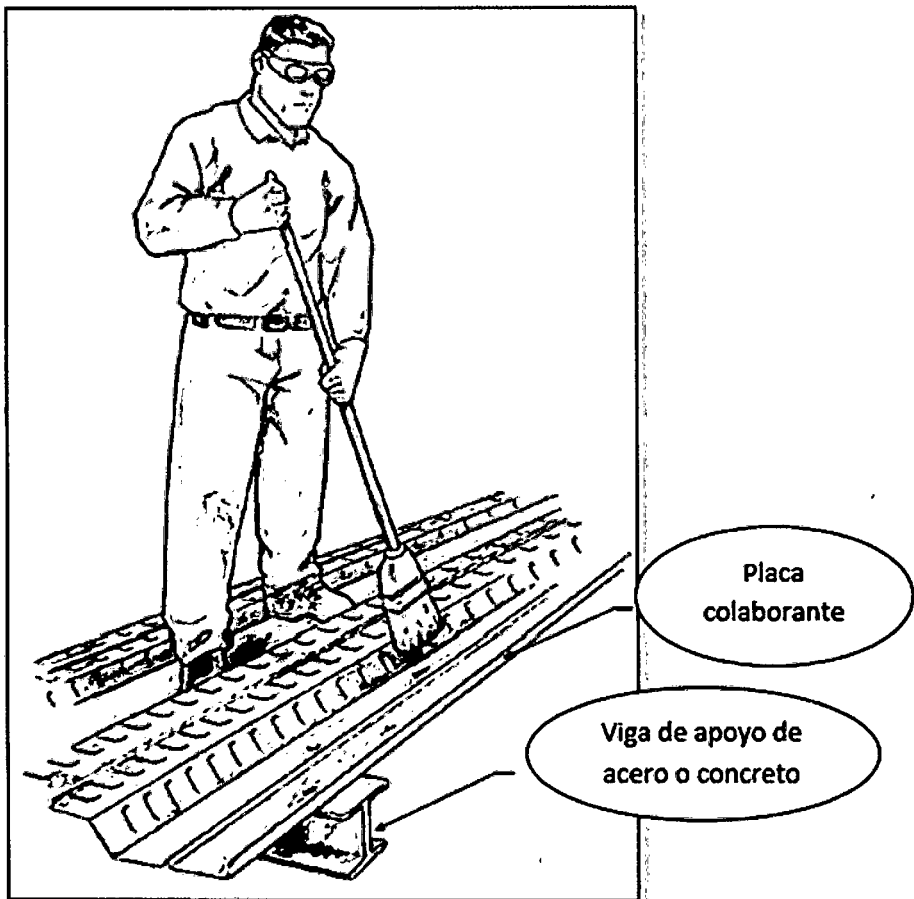


Figura 5. 4: Limpieza de la placa colaborante durante los trabajos diarios.

## 8.4. ANEXO IV: LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1: Tamaños de varillas corrugadas de acero (Harmsen, 2005).

| Número | db (pulg) | db (cm) | As (cm <sup>2</sup> ) | w (Kg/m) | NEMP |
|--------|-----------|---------|-----------------------|----------|------|
| # 2    | 1/4       | 0.635   | 0.320                 | 0.250    |      |
| # 3    | 3/8       | 0.952   | 0.560                 | 0.560    |      |
| # 4    | 1/2       | 1.270   | 0.994                 | 0.994    |      |
| # 5    | 5/8       | 1.588   | 1.552                 | 1.552    |      |
| # 6    | 3/4       | 1.905   | 2.235                 | 2.235    |      |
| # 7    | 7/8       | 2.222   | 3.042                 | 3.042    | x    |
| # 8    | 1         | 2.540   | 3.973                 | 3.973    |      |
| # 9    | 1 1/8     | 2.865   | 5.060                 | 5.060    | x    |
| # 10   | 1 1/4     | 3.226   | 6.403                 | 6.403    | x    |
| # 11   | 1 3/8     | 3.580   | 7.906                 | 7.906    |      |
| # 14   | 1 11/16   | 4.300   | 11.384                | 11.384   | x    |
| # 18   | 2 1/4     | 5.733   | 20.238                | 20.238   | x    |

Donde:

db : Diámetro nominal de la varilla.

As: Área de la sección transversal de la varilla.

w: Peso lineal de la varilla.

NEMP: No existe en el mercado peruano.

Tabla 2. 2: Características resistentes de los aceros de grado 40, 60 y 70 (Harmsen, 2005).

| GRADO    | fy (Kg/cm <sup>2</sup> ) | fs (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|--------------------------|--------------------------|
| Grado 40 | 2800                     | 4900                     |
| Grado 60 | 4200                     | 6300                     |
| Grado 75 | 5300                     | 7000                     |

Donde:

fy: Esfuerzo de fluencia del acero.

fs: Resistencia mínima a la tracción a la rotura.

Tabla 2. 3: Datos de Acero Estructural (Bowles, 1994).

| TIPO              | DENOMINACIÓN<br>ASTM | * (Kg/cm <sup>2</sup> ) | ESPESOR DE<br>PLACAS (mm) |
|-------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Carbono           | A-36 (grado 36)      | 2500                    | 20.3                      |
| Alta Resistencia, | A-242 (grado 40)     | 2750                    | 10.2 a 20.3               |
|                   | A-440 (grado 42)     | 2900                    | 3.8 a 10.2                |
|                   | A-441 (grado 46)     | 3150                    | 1.9 a 3.8                 |

|               |                  |      |             |
|---------------|------------------|------|-------------|
| baja aleación | A-441 (grado 50) | 3450 | 1.9         |
|               | A-588 (grado 42) | 2900 | 12.7 a 20.3 |
|               | A-588 (grado 46) | 3150 | 10.2 a 12.7 |
|               | A-588 (grado 50) | 350  | Hasta 10.2  |

Tabla 2. 4: Cuantías ( $\rho$ ) y valores de  $K_u$  para diferentes valores de  $f'_c$  (Blanco, 2011).

|                               |                         |                          |                         |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <b><math>f'_c =</math></b>    |                         | 175 Kg/cm <sup>2</sup>   |                         |
| <b><math>f_y =</math></b>     |                         | 4200 Kg/cm <sup>2</sup>  |                         |
| <b><math>\rho_b =</math></b>  |                         | 0.01771                  |                         |
| <b><math>\beta_1 =</math></b> |                         | 0.85                     |                         |
| <b><math>\rho</math></b>      | <b><math>K_u</math></b> | <b><math>\rho</math></b> | <b><math>K_u</math></b> |
| 0.0134                        | 41.0411                 | 0.0066                   | 22.6165                 |
| 0.0132                        | 40.5698                 | 0.0064                   | 21.9996                 |
| 0.0130                        | 40.0943                 | 0.0062                   | 21.3785                 |
| 0.0128                        | 39.6145                 | 0.0060                   | 20.7531                 |
| 0.0126                        | 39.1304                 | 0.0058                   | 20.1234                 |
| 0.0124                        | 38.6420                 | 0.0056                   | 19.4895                 |
| 0.0122                        | 38.1494                 | 0.0054                   | 18.8512                 |
| 0.0120                        | 37.6524                 | 0.0052                   | 18.2087                 |
| 0.0118                        | 37.1512                 | 0.0050                   | 17.5619                 |
| 0.0116                        | 36.6457                 | 0.0048                   | 16.9108                 |
| 0.0114                        | 36.1359                 | 0.0046                   | 16.2554                 |
| 0.0112                        | 35.6218                 | 0.0044                   | 15.5958                 |
| 0.0110                        | 35.1035                 | 0.0042                   | 14.9318                 |
| 0.0108                        | 34.5809                 | 0.0040                   | 14.2636                 |
| 0.0106                        | 34.0540                 | 0.0038                   | 13.5911                 |
| 0.0104                        | 33.5228                 | 0.0036                   | 12.9143                 |
| 0.0102                        | 32.9873                 | 0.0034                   | 12.2333                 |
| 0.0100                        | 32.4475                 | 0.0032                   | 11.5479                 |
| 0.0098                        | 31.9035                 | 0.0030                   | 10.8583                 |
| 0.0096                        | 31.3552                 | 0.0028                   | 10.1644                 |
| 0.0094                        | 30.8025                 | 0.0026                   | 9.4662                  |
| 0.0092                        | 30.2457                 | 0.0024                   | 8.7637                  |
| 0.0090                        | 29.6845                 | 0.0022                   | 8.0569                  |
| 0.0088                        | 29.1190                 | 0.0020                   | 7.3459                  |
| 0.0086                        | 28.5493                 | 0.0018                   | 6.6306                  |
| 0.0084                        | 27.9753                 | 0.0016                   | 5.9110                  |
| 0.0082                        | 27.3970                 | 0.0014                   | 5.1871                  |

|        |         |        |        |
|--------|---------|--------|--------|
| 0.0080 | 26.8144 | 0.0012 | 4.4589 |
| 0.0078 | 26.2276 | 0.0010 | 3.7265 |
| 0.0076 | 25.6364 | 0.0008 | 2.9897 |
| 0.0074 | 25.0410 | 0.0006 | 2.2487 |
| 0.0072 | 24.4413 | 0.0004 | 1.5034 |
| 0.0070 | 23.8373 | 0.0002 | 0.7539 |
| 0.0068 | 23.2290 | 0.0000 | 0.0000 |

|                        |           |                         |           |
|------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| <b>f<sub>c</sub> =</b> |           | 210 Kg/cm <sup>2</sup>  |           |
| <b>f<sub>y</sub> =</b> |           | 4200 Kg/cm <sup>2</sup> |           |
| <b>ρ<sub>b</sub> =</b> |           | 0.02125                 |           |
| <b>β<sub>1</sub> =</b> |           | 0.85                    |           |
| <b>ρ</b>               | <b>Ku</b> | <b>ρ</b>                | <b>Ku</b> |
| 0.0160                 | 49.0614   | 0.0078                  | 26.7703   |
| 0.0158                 | 48.5891   | 0.0076                  | 26.1517   |
| 0.0156                 | 48.1132   | 0.0074                  | 25.5295   |
| 0.0154                 | 47.6337   | 0.0072                  | 24.9037   |
| 0.0152                 | 47.1507   | 0.0070                  | 24.2744   |
| 0.0150                 | 46.6641   | 0.0068                  | 23.6415   |
| 0.0148                 | 46.1739   | 0.0066                  | 23.0050   |
| 0.0146                 | 45.6820   | 0.0064                  | 22.3650   |
| 0.0144                 | 45.1829   | 0.0062                  | 21.7214   |
| 0.0142                 | 44.6820   | 0.0060                  | 21.0743   |
| 0.0140                 | 44.1776   | 0.0058                  | 20.4235   |
| 0.0138                 | 43.6696   | 0.0056                  | 19.7692   |
| 0.0136                 | 43.1580   | 0.0054                  | 19.1113   |
| 0.0134                 | 42.6429   | 0.0052                  | 18.4499   |
| 0.0132                 | 42.1242   | 0.0050                  | 17.7849   |
| 0.0130                 | 41.6019   | 0.0048                  | 17.1163   |
| 0.0128                 | 41.0761   | 0.0046                  | 16.4442   |
| 0.0126                 | 40.5467   | 0.0044                  | 15.7685   |
| 0.0124                 | 40.0137   | 0.0042                  | 15.0892   |
| 0.0122                 | 39.4771   | 0.0040                  | 14.4063   |
| 0.0120                 | 38.9370   | 0.0038                  | 13.7199   |
| 0.0118                 | 38.3933   | 0.0036                  | 13.0299   |
| 0.0116                 | 37.8461   | 0.0034                  | 12.3364   |
| 0.0114                 | 37.2953   | 0.0032                  | 11.6393   |
| 0.0112                 | 36.7409   | 0.0030                  | 10.9386   |
| 0.0110                 | 36.1829   | 0.0028                  | 10.2343   |

|        |         |        |        |
|--------|---------|--------|--------|
| 0.0108 | 35.6214 | 0.0026 | 9.5265 |
| 0.0106 | 35.0563 | 0.0024 | 8.8151 |
| 0.0104 | 34.4876 | 0.0022 | 8.1001 |
| 0.0102 | 33.9154 | 0.0020 | 7.3816 |
| 0.0100 | 33.3396 | 0.0018 | 6.6595 |
| 0.0098 | 32.7602 | 0.0016 | 5.9338 |
| 0.0096 | 32.1773 | 0.0014 | 5.2046 |
| 0.0094 | 31.5908 | 0.0012 | 4.4718 |
| 0.0092 | 31.0007 | 0.0010 | 3.7354 |
| 0.0090 | 30.4071 | 0.0008 | 2.9955 |
| 0.0088 | 29.8099 | 0.0006 | 2.2519 |
| 0.0086 | 29.2091 | 0.0004 | 1.5049 |
| 0.0084 | 28.6047 | 0.0002 | 0.7542 |
| 0.0082 | 27.9968 | 0.0000 | 0.0000 |
| 0.0080 | 27.3853 |        |        |

|                        |           |                         |           |
|------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| <b>f<sub>c</sub> =</b> |           | 280 Kg/cm <sup>2</sup>  |           |
| <b>f<sub>y</sub> =</b> |           | 4200 Kg/cm <sup>2</sup> |           |
| <b>ρ<sub>b</sub> =</b> |           | 0.02833                 |           |
| <b>β<sub>1</sub> =</b> |           | 0.85                    |           |
| <b>ρ</b>               | <b>Ku</b> | <b>ρ</b>                | <b>Ku</b> |
| 0.0214                 | 65.5719   | 0.0110                  | 37.5322   |
| 0.0212                 | 65.1009   | 0.0108                  | 36.9220   |
| 0.0210                 | 64.6272   | 0.0106                  | 36.3092   |
| 0.0208                 | 64.1509   | 0.0104                  | 35.6937   |
| 0.0206                 | 63.6719   | 0.0102                  | 35.0755   |
| 0.0204                 | 63.1902   | 0.0100                  | 34.4547   |
| 0.0202                 | 62.7058   | 0.0098                  | 33.8312   |
| 0.0200                 | 62.2188   | 0.0096                  | 33.2050   |
| 0.0198                 | 61.7291   | 0.0094                  | 32.5761   |
| 0.0196                 | 61.2367   | 0.0092                  | 31.9445   |
| 0.0194                 | 60.7416   | 0.0090                  | 31.3103   |
| 0.0192                 | 60.2439   | 0.0088                  | 30.6734   |
| 0.0190                 | 59.7435   | 0.0086                  | 30.0338   |
| 0.0188                 | 59.2404   | 0.0084                  | 29.3916   |
| 0.0186                 | 58.7346   | 0.0082                  | 28.7466   |
| 0.0184                 | 58.2262   | 0.0080                  | 28.0990   |
| 0.0182                 | 57.7150   | 0.0078                  | 27.4487   |



|        |         |        |         |
|--------|---------|--------|---------|
| 0.0180 | 57.2012 | 0.0076 | 26.7958 |
| 0.0178 | 56.6848 | 0.0074 | 26.1401 |
| 0.0176 | 56.1656 | 0.0072 | 25.4818 |
| 0.0174 | 55.6438 | 0.0070 | 24.8208 |
| 0.0172 | 55.1193 | 0.0068 | 24.1571 |
| 0.0170 | 54.5921 | 0.0066 | 23.4908 |
| 0.0168 | 54.0622 | 0.0064 | 22.8218 |
| 0.0166 | 53.5297 | 0.0062 | 22.1501 |
| 0.0164 | 52.9945 | 0.0060 | 21.4757 |
| 0.0162 | 52.4566 | 0.0058 | 20.7986 |
| 0.0160 | 51.9160 | 0.0056 | 20.1189 |
| 0.0158 | 51.3728 | 0.0054 | 19.4365 |
| 0.0156 | 50.8269 | 0.0052 | 18.7514 |
| 0.0154 | 50.2783 | 0.0050 | 18.0637 |
| 0.0152 | 49.7270 | 0.0048 | 17.3732 |
| 0.0150 | 49.1731 | 0.0046 | 16.6801 |
| 0.0148 | 48.6165 | 0.0044 | 15.9843 |
| 0.0146 | 48.0572 | 0.0042 | 15.2859 |
| 0.0144 | 47.4952 | 0.0040 | 14.5848 |
| 0.0142 | 46.9305 | 0.0038 | 13.8809 |
| 0.0140 | 46.3632 | 0.0036 | 13.1744 |
| 0.0138 | 45.7932 | 0.0034 | 12.4653 |
| 0.0136 | 45.2205 | 0.0032 | 11.7534 |
| 0.0134 | 44.6452 | 0.0030 | 11.0389 |
| 0.0132 | 44.0671 | 0.0028 | 10.3217 |
| 0.0130 | 43.4864 | 0.0026 | 9.6019  |
| 0.0128 | 42.9031 | 0.0024 | 8.8793  |
| 0.0126 | 42.3170 | 0.0022 | 8.1541  |
| 0.0124 | 41.7283 | 0.0020 | 7.4262  |
| 0.0122 | 41.1369 | 0.0018 | 6.6956  |
| 0.0120 | 40.5428 | 0.0016 | 5.9624  |
| 0.0118 | 39.9460 | 0.0014 | 5.2264  |
| 0.0116 | 39.3466 | 0.0012 | 4.4878  |
| 0.0114 | 38.7444 | 0.0010 | 3.7465  |
| 0.0112 | 38.1397 |        |         |

|                        |           |                         |           |
|------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| <b>f<sub>c</sub> =</b> |           | 350 Kg/cm <sup>2</sup>  |           |
| <b>f<sub>y</sub> =</b> |           | 4200 Kg/cm <sup>2</sup> |           |
| <b>ρ<sub>b</sub> =</b> |           | 0.03333                 |           |
| <b>β<sub>1</sub> =</b> |           | 0.80                    |           |
| <b>ρ</b>               | <b>Ku</b> | <b>ρ</b>                | <b>Ku</b> |
| 0.0250                 | 77.7735   | 0.0124                  | 42.7570   |
| 0.0248                 | 77.2841   | 0.0122                  | 42.1327   |
| 0.0246                 | 76.7925   | 0.0120                  | 41.5062   |
| 0.0244                 | 76.2987   | 0.0118                  | 40.8776   |
| 0.0242                 | 75.8029   | 0.0116                  | 40.2469   |
| 0.0240                 | 75.3049   | 0.0114                  | 39.6140   |
| 0.0238                 | 74.8047   | 0.0112                  | 38.9789   |
| 0.0236                 | 74.3024   | 0.0110                  | 38.3417   |
| 0.0234                 | 73.7980   | 0.0108                  | 37.7024   |
| 0.0232                 | 73.2914   | 0.0106                  | 37.0610   |
| 0.0230                 | 72.7827   | 0.0104                  | 36.4174   |
| 0.0228                 | 72.2718   | 0.0102                  | 35.7716   |
| 0.0226                 | 71.7588   | 0.0100                  | 35.1238   |
| 0.0224                 | 71.2437   | 0.0098                  | 34.4737   |
| 0.0222                 | 70.7264   | 0.0096                  | 33.8216   |
| 0.0220                 | 70.2070   | 0.0094                  | 33.1673   |
| 0.0218                 | 69.6854   | 0.0092                  | 32.5108   |
| 0.0216                 | 69.1617   | 0.0090                  | 31.8522   |
| 0.0214                 | 68.6359   | 0.0088                  | 31.1915   |
| 0.0212                 | 68.1079   | 0.0086                  | 30.5287   |
| 0.0210                 | 67.5778   | 0.0084                  | 29.8636   |
| 0.0208                 | 67.0455   | 0.0082                  | 29.1965   |
| 0.0206                 | 66.5111   | 0.0080                  | 28.5272   |
| 0.0204                 | 65.9746   | 0.0078                  | 27.8558   |
| 0.0202                 | 65.4359   | 0.0076                  | 27.1822   |
| 0.0200                 | 64.8950   | 0.0074                  | 26.5065   |
| 0.0198                 | 64.3521   | 0.0072                  | 25.8286   |
| 0.0196                 | 63.8070   | 0.0070                  | 25.1486   |
| 0.0194                 | 63.2597   | 0.0068                  | 24.4665   |
| 0.0192                 | 62.7103   | 0.0066                  | 23.7822   |
| 0.0190                 | 62.1588   | 0.0064                  | 23.0958   |
| 0.0188                 | 61.6051   | 0.0062                  | 22.4073   |
| 0.0186                 | 61.0493   | 0.0060                  | 21.7166   |

|        |         |        |         |
|--------|---------|--------|---------|
| 0.0184 | 60.4913 | 0.0058 | 21.0237 |
| 0.0182 | 59.9312 | 0.0056 | 20.3287 |
| 0.0180 | 59.3690 | 0.0054 | 19.6316 |
| 0.0178 | 58.8046 | 0.0052 | 18.9323 |
| 0.0176 | 58.2381 | 0.0050 | 18.2309 |
| 0.0174 | 57.6694 | 0.0048 | 17.5274 |
| 0.0172 | 57.0986 | 0.0046 | 16.8217 |
| 0.0170 | 56.5257 | 0.0044 | 16.1139 |
| 0.0168 | 55.9506 | 0.0042 | 15.4039 |
| 0.0166 | 55.3734 | 0.0040 | 14.6918 |
| 0.0164 | 54.7940 | 0.0038 | 13.9776 |
| 0.0162 | 54.2125 | 0.0036 | 13.2612 |
| 0.0160 | 53.6288 | 0.0034 | 12.5426 |
| 0.0158 | 53.0430 | 0.0032 | 11.8220 |
| 0.0156 | 52.4551 | 0.0030 | 11.0991 |
| 0.0154 | 51.8650 | 0.0028 | 10.3742 |
| 0.0152 | 51.2728 | 0.0026 | 9.6471  |
| 0.0150 | 50.6785 | 0.0024 | 8.9178  |
| 0.0148 | 50.0820 | 0.0022 | 8.1865  |
| 0.0146 | 49.4833 | 0.0020 | 7.4530  |
| 0.0144 | 48.8825 | 0.0018 | 6.7173  |
| 0.0142 | 48.2796 | 0.0016 | 5.9795  |
| 0.0140 | 47.6746 | 0.0014 | 5.2395  |
| 0.0138 | 47.0674 | 0.0012 | 4.4975  |
| 0.0136 | 46.4580 | 0.0010 | 3.7532  |
| 0.0134 | 45.8465 | 0.0008 | 3.0069  |
| 0.0132 | 45.2329 | 0.0006 | 2.2584  |
| 0.0130 | 44.6172 | 0.0004 | 1.5077  |
| 0.0128 | 43.9992 | 0.0002 | 0.7549  |
| 0.0126 | 43.3792 | 0.0000 | 0.0000  |

Tabla 2. 5: Deflexiones máximas permitidas (Harmsen, 2005).

| Tipo de elemento   | Deflexión considerada  | Limitación |
|--|--|------------|
| Techos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas. | Deflexión instantánea debida a la aplicación de la carga viva. | 1/180*     |
| Pisos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas   | Deflexión instantánea debida a la aplicación de la carga viva. | 1/360      |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas. | Parte de la flecha total que ocurre después de la colocación de los elementos no estructurales. ** | 1/480***  |
| Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que no se dañan con deflexiones excesivas.        |  | 1/240**** |

- \* Este límite no tiene por objeto constituirse en un resguardo contra el estancamiento de aguas. Este último se debe verificar mediante cálculos de deflexiones adecuados, incluyendo las deflexiones debidas al agua estancada, y considerando los efectos a largo plazo de todas las cargas permanentes, la contraflecha, las tolerancias de construcción y la confiabilidad en las medidas tomadas para el drenaje de aguas.
- \*\* Las deflexiones a largo plazo se pueden reducir en la cantidad de deflexión calculada que ocurra antes de unir los elementos no estructurales. Esta cantidad se determina basándose en datos de ingeniería aceptables correspondiente a las características tiempo-deflexión de elementos similares a los que se están considerando.
- \*\*\* Este límite se puede exceder si se toman medidas adecuadas para prevenir daños en elementos apoyados.
- \*\*\*\* Pero no mayor que la tolerancia establecida para los elementos no estructurales. Este límite se puede exceder si se proporciona una contraflecha de modo que la deflexión total menos la contraflecha no exceda dicho límite.

Tabla 2. 6: Tipos de ladrillos que se encuentran en el mercado peruano (Harmsen, 2005).

| Material | Número de huecos | Ancho (cm) | Largo (cm) | Altura (cm) |
|----------|------------------|------------|------------|-------------|
| Arcilla  | 8                | 30         | 30         | 12          |
|          |                  |            | 25         | 15          |
| Arcilla  | 4                | 30         | 30         | 20          |
|          |                  |            | 25         |             |
| Concreto | 2                | 30         | 25         | 12          |
|          |                  |            |            | 15          |
|          |                  |            |            | 20          |
|          |                  |            |            | 25          |
|          |                  |            | 30         |             |

Tabla 2. 7: Peso de losas aligeradas por unidad de área (NTE-E.020).

| Altura de Losa | Espesor de Losa | Peso Propio           |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 17 cm          | 5 cm            | 280 Kg/m <sup>2</sup> |
| 20 cm          | 5 cm            | 300 Kg/m <sup>2</sup> |
| 25 cm          | 5 cm            | 350 Kg/m <sup>2</sup> |
| 30 cm          | 5 cm            | 420 Kg/m <sup>2</sup> |

Tabla 2. 8: Dimensiones de Diferentes Conectores de Corte Nelson Stud (Manual de Diseño Acero Deck).

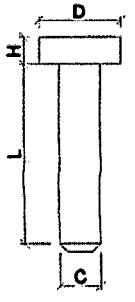
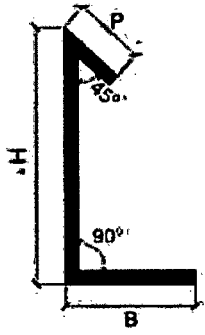
| CONECTOR DE CORTE |                           | NS-500/250 | NS-625/250 | NS-625/300 | NS-625/400 | NS-750/300 | NS-750/400 |  |
|-------------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---|
| Dimensiones       | Diámetro del Vástago (C)  | 1/2"       | 5/8"       | 5/8"       | 5/8"       | 3/4"       | 3/4"       |   |
|                   | Longitud del Vástago (L)  | 2"         | 2"         | 2 1/2"     | 3"         | 2 1/2"     | 3"         |   |
|                   | Diámetro de la Cabeza (L) | 1"         | 1 1/4"     | 1 1/4"     | 1 1/4"     | 1 1/4"     | 1 1/4"     |   |
|                   | Altura de la Cabeza (H)   | 8.5 mm     | 8.5 mm     | 8.5 mm     | 8.5 mm     | 8.5 mm     | 8.5 mm     |   |

Tabla 2. 9: Dimensiones de Topes de Borde (Manual de Diseño Acero Deck, 2013).

| Dimensiones | TIPO            | TB-90/170 | TB-100/170 | TB-110/170 | TB-120/200 | TB-130/200 | TB-140/200 |  |     |
|-------------|-----------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|--|-----|
|             | Altura (H) mm   |           | 90         | 100        | 110        | 120        | 130        |  | 140 |
|             | Base (B) mm     |           | 60         | 50         | 40         | 60         | 50         |  | 40  |
|             | Pestaña (P) mm  |           | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         |  | 20  |
|             | Longitud (L) mm |           | 170        | 170        | 170        | 200        | 200        |  | 200 |
|             | Calibre/gage    |           | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         |  | 20  |

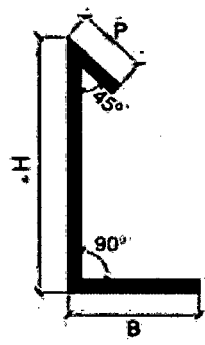
| Dimensiones | TIPO            | TB-150/240 | TB-160/240 | TB-170/240 | TB-180/240 | TB-190/300 | TB-200/300 |  |     |
|-------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---|-----|
|             | Altura (H) mm   |            | 150        | 160        | 170        | 180        | 190        |   | 200 |
|             | Base (B) mm     |            | 70         | 60         | 50         | 40         | 90         |   | 80  |
|             | Pestaña (P) mm  |            | 20         | 20         | 20         | 20         | 20         |   | 20  |
|             | Longitud (L) mm |            | 240        | 240        | 240        | 240        | 300        |   | 300 |
|             | Calibre/gage    |            | 20         | 20         | 20         | 18         | 18         |   | 18  |

Tabla 2. 10: Dimensiones de Topes de Cierre (Manual de Diseño Acero Deck, 2013).

| TIPO        |                 | TC-40/60 | TC-60/120 | TC-75/150 |  |
|-------------|-----------------|----------|-----------|-----------|--|
| Dimensiones | Altura (H) mm   | 40       | 60        | 75        |  |
|             | Base (B) mm     | 40       | 40        | 55        |  |
|             | Pestaña (P) mm  | 20       | 20        | 20        |  |
|             | Longitud (L) mm | 100      | 120       | 150       |  |
|             | Calibre/gage    | 20       | 20        | 20        |  |

Tabla 4. 1: Pesos específicos de materiales (NTE-E.020).

| MATERIALES                     | PESO (Kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|---------------------------|
| Concreto simple                | 2300                      |
| Concreto armado                | 2400                      |
| Albañilería de adobe           | 1600                      |
| Albañilería de ladrillo sólido | 1800                      |
| Albañilería de ladrillo hueco  | 1350                      |
| Ladrillo pastelero             | 1600                      |
| Losetas                        | 2400                      |
| Teja artesanal                 | 1600                      |
| Teja industrial                | 1800                      |
| Revoque de yeso                | 1000                      |

Tabla 4. 2: Pesos unitarios de materiales (NTE-E.020).

| OCUPACIÓN O USO                                       | CARGAS REPARTIDAS (Kg/m <sup>2</sup> ) |
|---|--|
| <b>Bibliotecas</b>                                    |  |
| Salas de almacenaje con estantes fijos (no apilables) | 750                                    |
| Corredores y escaleras                                | 400                                    |
| <b>Centros de Educación</b>                           |  |
| Aulas   | 250                                    |
| Talleres  | 350                                    |
| Laboratorios  | 300                                    |
| Corredores y escaleras                                | 400                                    |
| <b>Viviendas</b>                                      |  |
| Viviendas   | 200                                    |
| Corredores y escaleras                                | 200                                    |

Tabla 4. 3: Combinaciones básicas de carga (NTE-E.060)

| Combinaciones Básicas                                     |   |
|---|---|
| Resistencia para cargas muertas y vivas                   | $CU = 1.4CM + 1.7CV$                                      |
| Si se tuviera que considerar cargas de viento             | $CU = 1.25(CM + CV \pm CVi)$<br>$CU = 0.90CM \pm 1.25CVi$ |
| Si en el diseño se tuviera que considerar cargas de sismo | $CU = 1.25(CM + CV) \pm CS$<br>$CU = 0.90CM \pm 1.25CS$   |

Donde:

D: Carga muerta consistente en peso propio del elemento, peso de todos los materiales de construcción incorporados a la edificación y que son permanentes.

L: Cargas vivas debidas al uso y ocupación de la edificación, incluyendo cargas debidas a objetos móviles.

CVi: Carga de viento de diseño.

CS: Fuerza sísmica de diseño.

Tabla 4. 4: Características del Perfil AD-600 (Manual Acero Deck, 2013).

|                |             |
|----------------|-------------|
| Tipo           | AD-600      |
| Peralte        | 60 mm       |
| Ancho total    | 920 mm      |
| Ancho útil     | 900 mm      |
| Longitud       | 12 m        |
| Calibre (gage) | 20, 22      |
| Acabado        | Galvanizado |
| Longitud       | A medida    |

Corte Transversal

Tabla 4. 5: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-600 (Manual Acero Deck, 2013).

| Calibre (gage) | Peso/Área (Kg/cm <sup>2</sup> ) | I (cm <sup>4</sup> /m) | Ssup (cm <sup>3</sup> /m) | Sinf (cm <sup>3</sup> /m) |
|----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 22             | 9.12                            | 59.04                  | 22.73                     | 17.36                     |
| 20             | 10.88                           | 71.66                  | 27.58                     | 21.06                     |

Tabla 4. 6: Sobre cargas admisibles ( $\text{Kg/m}^2$ ) para placas AD-600 (Manual Acero Deck, 2013).

| Sobrecarga admisible ( $\text{Kg/m}^2$ ) con concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ |               |                     |        |        |        |        |        |
|---|---------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Calibre/Gage  | Luz libre (m) | Espesor de Losa (m) |        |        |        |        |        |
|   |               | t = 11              | t = 12 | t = 13 | t = 14 | t = 15 | t = 16 |
| 22 (0.749 mm)   | 1.50          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.75          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.00          | 1650                | 1911   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.25          | 1243                | 1445   | 1647   | 1849   | 2000   | 2000   |
|   | 2.50          | 952                 | 1112   | 1272   | 1432   | 1592   | 1753   |
|   | 2.75          | 689                 | 865    | 995    | 1124   | 1253   | 1382   |
|   | 3.00          | 487                 | 661    | 784    | 889    | 995    | 1101   |
|   | 3.25          | 364                 | 475    | 619    | 707    | 794    | 882    |
|   | 3.50          | 254                 | 338    | 465    | 562    | 635    | 708    |
|   | 3.75          | 172                 | 236    | 334    | 445    | 506    | 568    |
|   | 4.00          | -                   | 157    | 234    | 329    | 401    | 453    |
|   | 4.25          | -                   | -      | 156    | 231    | 314    | 358    |
|   | 4.50          | -                   | -      | -      | 154    | 228    | 278    |
| 20 (0.909 mm)   | 1.50          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.75          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.00          | 1962                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.25          | 1489                | 1731   | 1974   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.50          | 1035                | 1344   | 1537   | 1730   | 1923   | 2000   |
|   | 2.75          | 731                 | 1025   | 1213   | 1369   | 1526   | 1682   |
|   | 3.00          | 520                 | 741    | 967    | 1095   | 1224   | 1353   |
|   | 3.25          | 368                 | 537    | 716    | 882    | 989    | 1096   |
|   | 3.50          | 277                 | 388    | 526    | 694    | 803    | 892    |
|   | 3.75          | 190                 | 276    | 384    | 516    | 652    | 728    |
|   | 4.00          | -                   | 190    | 274    | 379    | 505    | 594    |
|   | 4.25          | -                   | -      | 189    | 273    | 374    | 482    |
|   | 4.50          | -                   | -      | -      | 189    | 270    | 367    |

Tabla 4. 7: Características del Perfil AD-730 (Manual Acero Deck, 2013).

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Tipo              | AD-730      |
| Peralte           | 60 mm       |
| Ancho total       | 920 mm      |
| Ancho útil        | 900 mm      |
| Longitud          | 12 m        |
| Calibre (gage)    | 20, 22      |
| Acabado           | Galvanizado |
| Longitud          | A medida    |
| Corte Transversal |             |



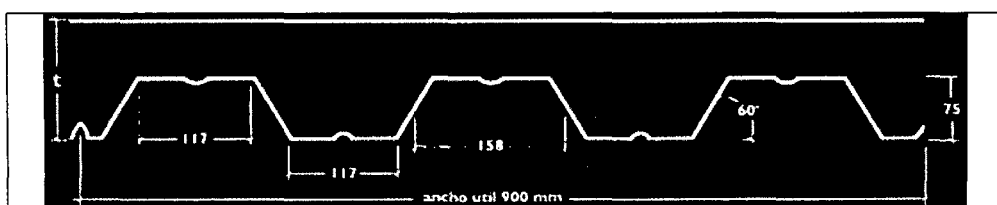


Tabla 4. 8: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-730 (Manual Acero Deck, 2013).

| Calibre (gage) | Peso/Área (Kg/cm <sup>2</sup> ) | I (cm <sup>4</sup> /m) | Ssup (cm <sup>3</sup> /m) | Sinf (cm <sup>3</sup> /m) |
|----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 22             | 9.12                            | 85.01                  | 23.25                     | 27.90                     |
| 20             | 10.88                           | 102.00                 | 27.90                     | 28.59                     |

Tabla 4. 9: Sobre cargas admisibles (Kg/m<sup>2</sup>) para placas AD-730 (Manual Acero Deck, 2013).

| Sobrecarga admisible (Kg/m <sup>2</sup> ) con concreto f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |               |                     |        |        |        |        |        |        |
|---|---------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Calibre/Gage  | Luz libre (m) | Espesor de Losa (m) |        |        |        |        |        |        |
|   |               | t = 14              | t = 15 | t = 16 | t = 17 | t = 18 | t = 19 | t = 20 |
| 22 (0.749 mm)   | 2.00          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.25          | 1591                | 1889   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.50          | 1132                | 1324   | 1447   | 1637   | 1760   | 1962   | 2000   |
|   | 2.75          | 816                 | 910    | 1005   | 1099   | 1193   | 1257   | 1382   |
|   | 3.00          | 614                 | 717    | 793    | 870    | 946    | 1022   | 1099   |
|   | 3.25          | 504                 | 567    | 629    | 691    | 754    | 816    | 878    |
|   | 3.50          | 396                 | 447    | 498    | 550    | 601    | 652    | 704    |
|   | 3.75          | 308                 | 351    | 393    | 436    | 478    | 520    | 563    |
|   | 4.00          | 237                 | 272    | 307    | 342    | 377    | 412    | 447    |
|   | 4.25          | -                   | 207    | 236    | 265    | 294    | 323    | 352    |
|   | 4.50          | -                   | -      | -      | 200    | 224    | 248    | 272    |
| 4.75  | -             | -                   | -      | -      | -      | 184    | 204    |        |
| 20 (0.909 mm)   | 2.00          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.25          | 1959                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.50          | 1419                | 1623   | 1771   | 1991   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.75          | 1016                | 1133   | 1250   | 1367   | 1483   | 1600   | 1717   |
|   | 3.00          | 809                 | 904    | 999    | 1094   | 1190   | 1285   | 1380   |
|   | 3.25          | 647                 | 726    | 804    | 883    | 961    | 1039   | 1118   |
|   | 3.50          | 519                 | 584    | 649    | 714    | 780    | 845    | 910    |
|   | 3.75          | 446                 | 470    | 524    | 579    | 633    | 688    | 742    |
|   | 4.00          | 331                 | 377    | 422    | 468    | 514    | 559    | 605    |
|   | 4.25          | 261                 | 299    | 338    | 376    | 414    | 453    | 491    |
|   | 4.50          | -                   | 234    | 267    | 299    | 331    | 364    | 396    |
|   | 4.75          | -                   | -      | -      | 234    | 261    | 288    | 315    |
|   | 5.00          | -                   | -      | -      | -      | 201    | 223    | 246    |

Tabla 4. 10: Características del Perfil AD-900 (Manual Acero Deck, 2013).

|                |             |
|----------------|-------------|
| Tipo           | AD-900      |
| Peralte        | 60 mm       |
| Ancho total    | 920 mm      |
| Ancho útil     | 900 mm      |
| Longitud       | 12 m        |
| Calibre (gage) | 20, 22      |
| Acabado        | Galvanizado |
| Longitud       | A medida    |

Corte Transversal

Tabla 4. 11: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-900 (Manual Acero Deck, 2013).

| Calibre (gage) | Peso/Área (Kg/cm <sup>2</sup> ) | I (cm <sup>4</sup> /m) | Ssup (cm <sup>3</sup> /m) | Sinf (cm <sup>3</sup> /m) |
|----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 22             | 9.12                            | 25.01                  | 16.42                     | 10.99                     |
| 20             | 10.88                           | 30.36                  | 19.92                     | 13.34                     |





Tabla 4. 12: Propiedades de la Lámina Colaborante AD-900 (Manual Acero Deck, 2013).

| Sobrecarga admisible (Kg/m <sup>2</sup> ) con concreto f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |               |                     |        |        |        |        |        |
|---|---------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Calibre/Gage  | Luz libre (m) | Espesor de Losa (m) |        |        |        |        |        |
|   |               | t = 9               | t = 10 | t = 11 | t = 12 | t = 13 | t = 14 |
| 22 (0.749 mm)   | 1.25          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.50          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.75          | 1552                | 1837   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.00          | 1126                | 1339   | 1553   | 1766   | 1979   | 2000   |
|   | 2.25          | 834                 | 998    | 1163   | 1327   | 1491   | 1655   |
|   | 2.50          | 625                 | 755    | 884    | 1013   | 1142   | 1271   |
|   | 2.75          | 471                 | 574    | 677    | 781    | 884    | 987    |
|   | 3.00          | 353                 | 437    | 521    | 604    | 681    | 771    |
|   | 3.25          | 262                 | 330    | 398    | 467    | 535    | 603    |
| 3.50  | 189           | 245                 | 301    | 358    | 414    | 470    |        |
| 20 (0.909 mm)   | 1.25          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.50          | 2000                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 1.75          | 1866                | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.00          | 1366                | 1626   | 1886   | 2000   | 2000   | 2000   |
|   | 2.25          | 1024                | 1225   | 1426   | 1627   | 1828   | 2000   |
|   | 2.50          | 779                 | 938    | 1097   | 1256   | 1415   | 1574   |
|   | 2.75          | 597                 | 725    | 853    | 981    | 1109   | 1237   |
|   | 3.00          | 459                 | 654    | 668    | 772    | 877    | 981    |





|  |      |     |     |     |     |     |     |
|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 3.25 | 352 | 438 | 524 | 610 | 696 | 782 |
|  | 3.50 | 267 | 334 | 397 | 461 | 527 | 595 |
|  | 3.75 | 176 | 222 | 270 | 320 | 371 | 425 |

## 8.5. ANEXO V: CERTIFICACIÓN DE ACERO DECK

### 1. Carta certificado UNI-CISMID

|  |  |   |
|--|--|---|
|   | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL</b><br><b>CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES</b><br><b>SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES</b><br><b>LABORATORIO DE ESTRUCTURAS</b> |  |
| <p><b>Of. N° 030-LE-CISMID/2014</b></p> <p>Lima, 04 de Setiembre de 2014</p> <p>Señores:<br/> <b>ACEROS PROCESADOS S.A.</b><br/> Calle Chiclayo N° 893 - Miraflores<br/> Lima - Perú</p> <p style="text-align: right;">Att. : Sr. Rollin Buse Thorne<br/> Gerente General<br/> Ref. : Ensayos de losa colaborante<br/> Acero-Deck</p> <p>Estimados señores:</p> <p>Mediante la presente les informamos que hemos concluido con la realización de ensayos para sus productos del sistema constructivo de losas elaboradas con planchas metálicas y concreto para su sistema constructivo Acero-Deck.</p> <p>Según Informe N° 03-LE-CISMID-2002, Informe N° 05-2007-LE-CZT, Informe N° 25 LE-CISMID/2009, Informe N° 16 LE-CISMID/2010 y Informe N° 07-LE-CISMID/2014.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexión simplemente apoyado (Norma ASTM – C-78)</li> <li>- Flexión con vigas de concreto (Norma ASTM – C-78)</li> <li>- Flexión con vigas metálicas (Norma ASTM – C-78)</li> <li>- Resistencia al Fuego (Norma ASTM – E-119)</li> <li>- Push Out para conectores de corte (Eurocódigos 4 sección 10)</li> <li>- Vibración Forzada</li> <li>- Flexión Estática Pura (Norma ASTM – C78)</li> </ul> <p>Los ensayos se han realizado bajo las normas internacionales ASTM-C-78, ASTM-E-119 y eurocódigos 4 sección 10 para losas con sus productos Placa Colaborante de los tipos AD-900 (peralte 38 mm), AD-600 (peralte 60 mm) y AD-730 (peralte 75 mm) en los espesores de laminas de acero estructural galvanizado en gage 20 (0.90 mm) y gage 22 (0.76 mm) para losas con alturas totales desde 9 a 20 centímetros.</p> <p>Y los Conectores de Corte tipo Nelson Stud para sus productos NS-500/250 (1/2 x 2 1/2"), NS-625/250 (5/8 x 2 1/2"), NS-625/300 (5/8 x 3"), NS-750/300 (3/4 x 3"), NS-625/400 (5/8" x 4") y NS-750/400 (3/4 x 4") mediante los ensayos flexión con vigas metálicas y ensayos de Push-Out en probetas reducidas de losas con placa colaborante.</p> <p>Sin otro particular queda de Uds.</p> <p>Atentamente,</p> <p style="text-align: center;"> <br/>  </p> <p><b>Dr. Carlos Zavala Toledo</b><br/> Jefe del Laboratorio de Estructuras (e)</p> |  |   |
| <p>AV. TÚPAC AMARU N° 1150 - Lima 25 - PERÚ Apartado Postal 31-250 Lima 31<br/> Telefax: (51-1) 482-0790 Teléfonos: 482-0777 (301) 481-1070 (422)<br/> Web: <a href="http://www.cismid-uni.org">http://www.cismid-uni.org</a><br/> E-mail: <a href="mailto:lab-estructuras@unLedu.pe">lab-estructuras@unLedu.pe</a></p>  |  |   |

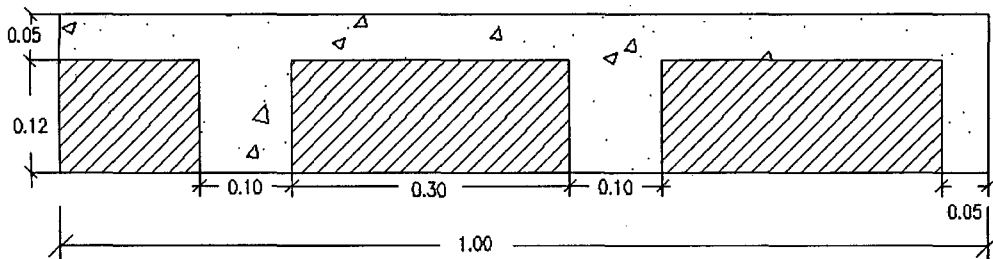
2. Carta certificado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y SENCICO.

|   |  |  |
|---|--|--|
|    | <b>Ministerio<br/>de Vivienda,<br/>Construcción<br/>y Saneamiento</b>  |  |
| <i>"Año de los Derechos de la Persona con Discapacidad y del Centenario del Nacimiento de Jorge Basadre Grohmann"</i>   |  |  |
| <b>CERTIFICADO</b>  |  |  |
| <p>El Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción - SENCICO, Organismo Público Descentralizado del Sector Vivienda, Construcción y Saneamiento, CERTIFICA:</p>  |  |  |
| <p>Que el Sistema Constructivo ACERO-DECK, proyectado por la Empresa ACEROS PROCESADOS S.A., es una Construcción Compuesta, consistente en losa de concreto con tableros perforados de acero, que para los propósitos de diseño, fabricación, montaje y uso de los materiales estructurales, se rige por las Normas del Reglamento Nacional de Construcciones (Capítulo VIII-VII-1.1 ACEROS) y las Normas Técnicas de Edificación vigentes.</p> |  |  |
| <p>Evaluada por la Gerencia de Investigación y Normalización, se expide la presente certificación a solicitud de la parte interesada, para los fines que crea conveniente.</p>  |  |  |
| <p>Lima, 25 de Febrero del 2003.</p>  |  |  |
|  <p><b>COZAR EVA DENTRE</b><br/>Presidente Ejecutivo del SENCICO</p>   |  |  |
| <p>Av. Canadá N° 1568 - San Borja - Telf. 4760622</p>   |  <p><b>Gobierno del Perú</b><br/>Trabajo de confianza</p> |  |

## 8.6. ANEXO VI: COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS CON LADRILLO DE TECNOPOR RESPECTO AL PESO Y A LOS COSTOS POR m<sup>2</sup>

### 8.6.1. COMPARACIÓN DE LOS PESOS DE AMBAS LOSAS DE ENTREPISO

#### a) Calculo del peso de la losa aligerada con ladrillo de tecnopor:



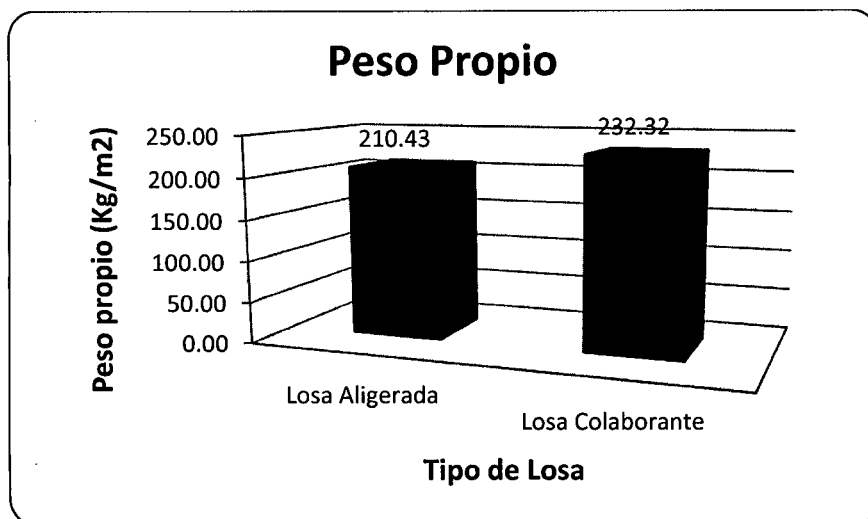
- ✓ Peso de losa:  $0.05\text{m} \times 0.40\text{m} \times 1.00\text{m} \times 2400\text{Kg/m}^3 = 48\text{ Kg/m}$
- ✓ Peso de Vigueta:  $0.10\text{m} \times 0.15\text{m} \times 1.00\text{m} \times 2400\text{Kg/m}^3 = 36\text{ Kg/m}$
- ✓ Ladrillo de tecnopor:  $(1.00\text{m}/0.30\text{m}) \times 1.00\text{m} \times 0.050\text{ Kg} = 0.17\text{ Kg/m}$
- ✓ Peso total por m<sup>2</sup>:  $84.70\text{ Kg/m} \times 2.5 = 210.43\text{ Kg/m}^2$

#### b) Peso de la losa colaborante:

- ✓ Peso propio de la losa:  $223.20\text{ Kg/m}^2$
- ✓ Peso propio de la lámina:  $9.12\text{ Kg/m}^2$
- ✓ Peso total por m<sup>2</sup>:  $232.32\text{ Kg/m}^2$

#### c) Comparación de los pesos de ambas losas:

Se puede observar una disminución en el peso muerto de la losa aligerada con ladrillo de tecnopor con un valor de  $21.89\text{ Kg/m}^2$ , que representa un 9.29%. Esto podría generar una disminución considerable en el diseño de otros elementos estructurales y la cimentación, pero también se debe tener en cuenta las dimensiones mínimas con que deben contar estos elementos.



Fuente: Elaboración Propia.

### 8.6.2. COMPARACIÓN DE LOS PRECIOS DE AMBAS LOSAS DE ENTREPISO

- a) Análisis de costos unitarios por m<sup>2</sup> de la losa aligerada rellena con ladrillo de tecnopor

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA   |               |                 |                              |                      |
|---|---------------|-----------------|------------------------------|----------------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA  |               |                 |                              |                      |
| ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |               |                 |                              |                      |
| ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA TESIS DE COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS |               |                 |                              |                      |
| TESISTA: RODRÍGUEZ CHÁVARRY, Andersson Nielser Nilthony   |               |                 |                              |                      |
| <b>Partida: Encofrado y Desencofrado de Losa Aligerada</b>  |               |                 |                              |                      |
|   |               |                 | <b>COSTO UNITARIO TOTAL</b>  | <b>S/. 176.86</b>    |
| <b>Especificaciones</b>   |               |                 | Madera tornillo              |                      |
| <b>Cuadrilla</b>  |               |                 | <b>Rendimiento</b>           |                      |
| Habilitación: 1 oficial + 2 peones  |               |                 | 70.00                        | m <sup>2</sup> /día  |
| Encofrado: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial  |               |                 | 12.00                        | m <sup>2</sup> /día  |
| Desencofrado: 1 oficial + 2 peones  |               |                 | 30.00                        | m <sup>2</sup> /día  |
|   |               |                 | <b>Costo Unitario (C.U.)</b> | <b>S/. 79.57</b>     |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>  | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio</b>                | <b>Parcial (S/.)</b> |
| <b>MANO DE OBRA</b>   |               |                 |                              | <b>28.16</b>         |
| Capataz   | hh            | 0.067           | 14.80                        | 0.99                 |

|   |               |  |               |  |
|---|---------------|--|---------------|--|
| Operario  | hh            | 0.667  | 12.50         | 8.33   |
| Oficial   | hh            | 1.048  | 11.00         | 11.52  |
| Peón  | hh            | 0.762  | 9.60          | 7.31   |
| <b>MATERIALES</b>                                   |               |  |               | <b>50.57</b>                                     |
| Madera tornillo                                     | pie2          | 10.758   | 4.60          | 49.49  |
| Clavos de 2 1/2                                     | Kg            | 0.100  | 4.90          | 0.49   |
| Alambre negro N° 16                                 | Kg            | 0.110  | 5.40          | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>                        |               |  |               | <b>0.84</b>                                      |
| Herramientas manuales                               | %MO           | 0.030  | 28.16         | 0.84   |
| <b>Partida: Colocación de Acero Grado 60</b>        |               |  |               |  |
| <b>Especificaciones</b>                             |               | Acero corrugado grado 60 de $\phi$ 3/8" por 9.00 m cortado con cizalla |               |  |
| <b>Cuadrilla</b>                                    |               | <b>Rendimiento</b>   |               | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 23.00</b> |
| Habilitación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial |               | 240.00   | Kg/día        |  |
| Colocación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial   |               | 240.00   | Kg/día        |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>                          | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                 |               |  |               | <b>1.67</b>                                      |
| Capataz   | hh            | 0.007  | 14.80         | 0.10   |
| Operario  | hh            | 0.067  | 12.50         | 0.83   |
| Oficial   | hh            | 0.067  | 11.00         | 0.73   |
| <b>MATERIALES</b>                                   |               |  |               | <b>21.27</b>                                     |
| Acero corrugado $\phi$ 3/8                          | Kg            | 5.940  | 3.48          | 20.67  |
| Alambre negro N° 16                                 | Kg            | 0.110  | 5.40          | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>                        |               |  |               | <b>0.07</b>                                      |
| Cizalla   | hm            | 0.032  | 0.50          | 0.016  |
| Herramientas manuales                               | %MO           | 0.030  | 1.67          | 0.050  |
| <b>Partida: Colocación de Ladrillo 30x30x12 cm</b>  |               |  |               |  |
| <b>Especificaciones</b>                             |               | Ladrillo de tecnopor para techo 30x30x12 cm                            |               |  |
| <b>Cuadrilla</b>                                    |               | <b>Rendimiento</b>   |               | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 31.27</b> |
| Colocación: 1 operario + 2 peones                   |               | 25.00  | m2/día        |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>                          | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>                                 |               |  |               | <b>10.14</b>                                     |
| Operario  | hh            | 0.320  | 12.50         | 4.00   |
| Peón  | hh            | 0.640  | 9.60          | 6.14   |
| <b>MATERIALES</b>                                   |               |  |               | <b>20.83</b>                                     |
| Ladrillo para techo 30x30x12 cm                     | Unidad        | 8.330  | 2.50          | 20.83  |

|  |               |                                       |               |                      |
|--|---------------|---------------------------------------|---------------|----------------------|
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>   |               |                                       |               | <b>0.30</b>          |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.030                                 | 10.14         | 0.30                 |
| <b>Partida: Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2 para losas y vigas</b> |               |                                       |               |                      |
| <b>Especificaciones</b>  |               | Camión concretero, bomba y vibradores |               |                      |
| <b>Cuadrilla</b>   |               | <b>Rendimiento</b>                    | <b>Costo</b>  | <b>S/. 43.02</b>     |
| Vaciado: 1 capataz + 4 operario + 8 peones                               |               | 100.00                                | m3/día        |                      |
| Curado: 0.10 capataz + 1 peón  |               | 100.00                                | m3/día        |                      |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>   | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>                       | <b>Precio</b> | <b>Parcial (S/.)</b> |
| <b>MANO DE OBRA</b>  |               |                                       |               | <b>12.21</b>         |
| Capataz  | hh            | 0.088                                 | 14.80         | 1.30                 |
| Operario   | hh            | 0.320                                 | 12.50         | 4.00                 |
| Peón   | hh            | 0.720                                 | 9.60          | 6.91                 |
| <b>MATERIALES</b>  |               |                                       |               | <b>27.20</b>         |
| Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2                                    | m3            | 0.080                                 | 340.00        | 27.20                |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>   |               |                                       |               | <b>3.60</b>          |
| Bomba (1)  | hm            | 0.08                                  | 23.50         | 1.88                 |
| Vibradores de 2", 4HP (2)  | hm            | 0.16                                  | 8.47          | 1.36                 |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.03                                  | 12.21         | 0.37                 |

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ El precio del ladrillo hueco por unidad, ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El precio del concreto f'c = 210 Kg/cm2, es un concreto premezclado y ha sido obtenido de DINO.
- ✓ El precio del acero corrugado ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El costo total en soles por m2 de losa aligerada es: S/. 176.86
- ✓ El costo total de mano de obra es: S/. 52.18
- ✓ El costo total de materiales es: S/. 119.86
- ✓ El costo total de equipo y herramientas es: S/. 4.82

**b) Análisis de costos unitarios por m<sup>2</sup> de la losa colaborante:**

|  |
|--|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>   |
| <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>  |
| <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>   |
| <b>ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS PARA TESIS DE COMPARACIÓN DE LOSAS COLABORANTES CON LOSAS ALIGERADAS</b> |



| <b>TESISTA: RODRÍGUEZ CHÁVARRY, Andersson Nielser Nilthony</b>           |               |  |                             |  |
|--|---------------|--|-----------------------------|--|
| <b>Partida: Encofrado de Losa Colaborante</b>                            |               |  |                             |  |
|  |               |  | <b>COSTO UNITARIO TOTAL</b> | <b>S/. 147.43</b>                                |
| <b>Especificaciones</b>  |               | Placa colaborante AD-600   |                             |  |
| <b>Cuadrilla</b>   |               | <b>Rendimiento</b>   |                             | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 79.02</b> |
| Habilitación: 1 oficial + 2 peones                                       |               | 70.00  | m2/día                      |  |
| Encofrado: 1 capataz + 1 operario + 1 oficial                            |               | 15.00  | m2/día                      |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>   | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b>               | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>  |               |  |                             | <b>19.93</b>                                     |
| Capataz  | hh            | 0.267  | 14.80                       | 3.95   |
| Operario   | hh            | 0.533  | 12.50                       | 6.67   |
| Oficial  | hh            | 0.648  | 11.00                       | 7.12   |
| Peón   | hh            | 0.229  | 9.60                        | 2.19   |
| <b>MATERIALES</b>  |               |  |                             | <b>58.49</b>                                     |
| Placa AD-600   | m2            | 1.00   | 54.50                       | 54.50  |
| Conectores de Corte  | Unidad        | 4.00   | 0.70                        | 2.80   |
| Alambre recocido   | Kg            | 0.22   | 5.40                        | 1.19   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>   |               |  |                             | <b>0.60</b>                                      |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.030  | 19.93                       | 0.60   |
| <b>Partida: Colocación de Acero Grado 60</b>                             |               |  |                             |  |
| <b>Especificaciones</b>  |               | Acero corrugado grado 60 de $\phi$ 3/8" por 9.00 m cortado con cizalla |                             |  |
| <b>Cuadrilla</b>   |               | <b>Rendimiento</b>   |                             | <b>Costo Unitario (C.U.)</b><br><b>S/. 20.98</b> |
| Habilitación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial                      |               | 240.00   | Kg/día                      |  |
| Colocación: 0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial                        |               | 240.00   | Kg/día                      |  |
| <b>DESCRIPCIÓN/RECURSO</b>   | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b>  | <b>Precio</b>               | <b>Parcial (S/.)</b>                             |
| <b>MANO DE OBRA</b>  |               |  |                             | <b>1.67</b>                                      |
| Capataz  | hh            | 0.007  | 14.80                       | 0.10   |
| Operario   | hh            | 0.067  | 12.50                       | 0.83   |
| Oficial  | hh            | 0.067  | 11.00                       | 0.73   |
| <b>MATERIALES</b>  |               |  |                             | <b>19.25</b>                                     |
| Acero corrugado $\phi$ 3/8   | Kg            | 5.94   | 3.14                        | 18.65  |
| Alambre negro N° 16  | Kg            | 0.11   | 5.40                        | 0.59   |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>   |               |  |                             | <b>0.07</b>                                      |
| Cizalla  | hm            | 0.032  | 0.50                        | 0.016  |
| Herramientas manuales  | %MO           | 0.030  | 1.67                        | 0.050  |
| <b>Partida: Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2 para losas y vigas</b> |               |  |                             |  |
| <b>Especificaciones</b>  |               | Camión concretero, bomba y vibradores                                  |                             |  |

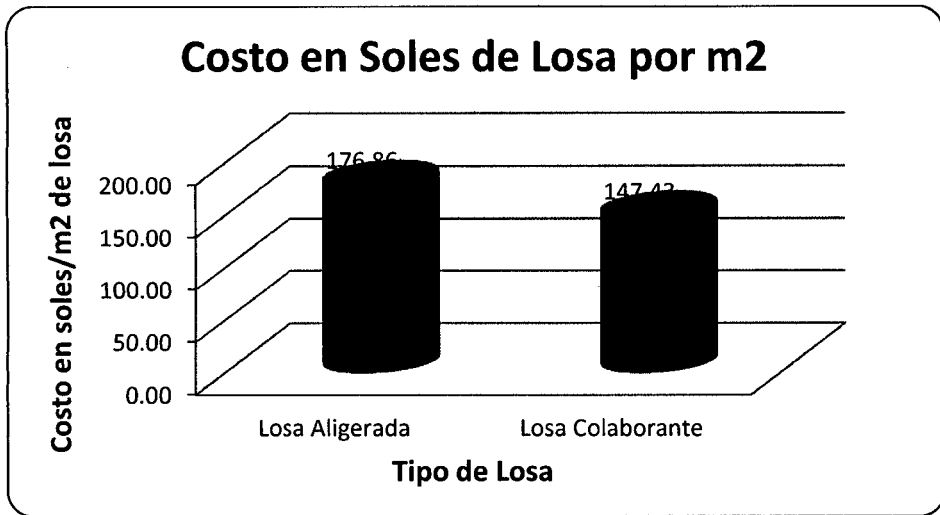
| Cuadrilla                                  |        | Rendimiento |        | Costo Unitario (C.U.) | S/. 47.44     |
|--|--------|-------------|--------|-----------------------|---------------|
| Vaciado: 1 capataz + 4 operario + 8 peones |        | 100.00      | m3/día |                       |               |
| Curado: 0.10 capataz + 1 peón              |        | 100.00      | m3/día |                       |               |
| DESCRIPCIÓN/RECURSO                        | Unidad | Cantidad    |        | Precio                | Parcial (S/.) |
| <b>MANO DE OBRA</b>                        |        |             |        |                       | <b>12.21</b>  |
| Capataz                                    | hh     | 0.088       |        | 14.80                 | 1.30          |
| Operario                                   | hh     | 0.320       |        | 12.50                 | 4.00          |
| Peón                                       | hh     | 0.720       |        | 9.60                  | 6.91          |
| <b>MATERIALES</b>                          |        |             |        |                       | <b>31.62</b>  |
| Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2      | m3     | 0.093       |        | 340.00                | 31.62         |
| <b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>               |        |             |        |                       | <b>3.60</b>   |
| Bomba (1)                                  | hm     | 0.080       |        | 23.50                 | 1.88          |
| Vibradores de 2", 4HP (2)                  | hm     | 0.160       |        | 8.47                  | 1.36          |
| Herramientas manuales                      | %MO    | 0.030       |        | 12.21                 | 0.37          |

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ El precio de la placa colaborante ha sido obtenido de Acero – Deck.
- ✓ El precio del concreto f'c = 210 Kg/cm2, es un concreto premezclado y ha sido obtenido de DINO.
- ✓ El precio del acero corrugado ha sido obtenido de SODIMAC.
- ✓ El costo total en soles por m<sup>2</sup> de losa colaborante es: S/. 147.43
- ✓ El costo total de mano de obra es: S/. 33.81
- ✓ El costo total de materiales es: S/. 109.35
- ✓ El costo total de equipo y herramientas es: S/. 4.27

### c) Comparación de los precios de ambas losas

Se puede observar un aumento en el costo por m<sup>2</sup> de la losa aligerada con ladrillo de tecnopor en un valor de S/. 29.43, lo que hace un aumento en un porcentaje de 16.64%. El aumento del costo por m<sup>2</sup> se debe la variación de rendimientos, mano de obra, materiales e insumos que intervienen en el análisis de costos unitarios de ambos sistemas.



Fuente: Elaboración propia.

## 8.7. ANEXO VII: EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LOSAS COLABORANTES

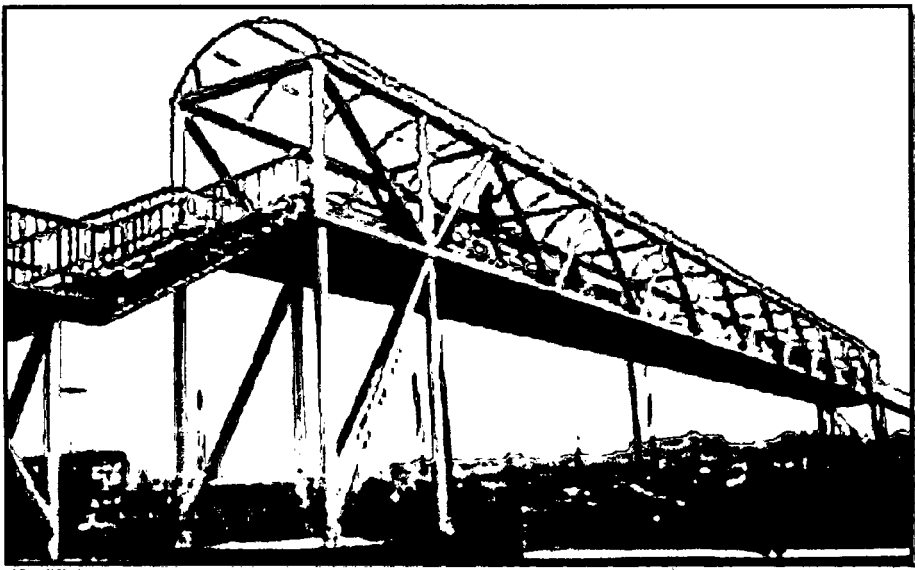
1. Estacionamiento de la Universidad de Ciencias Aplicadas-Lima.



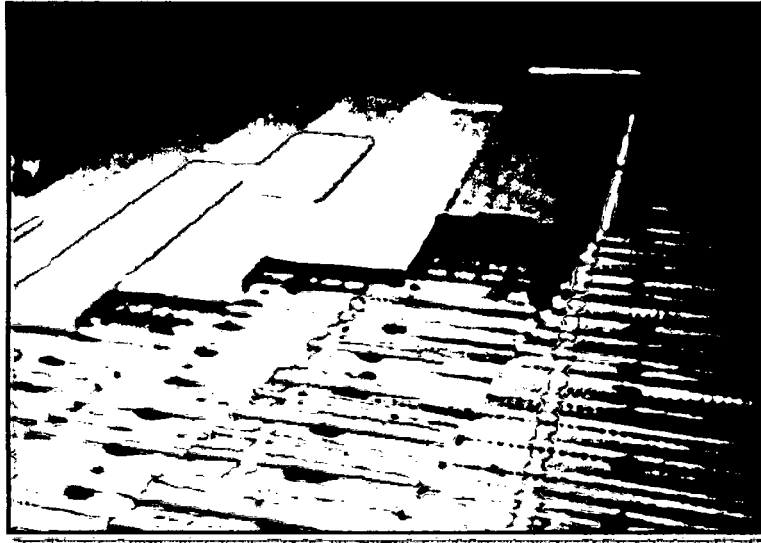
2. Supermercado Vivanda, Av. Benavides, Lima.



3. Puente peatonal ubicado en la Av. Tupac Amaru, Lima.



4. Graderías con acero deck en Plaza Veá del Callao, Lima.



5. Estacionamiento subterráneo en el Centro Comercial El Quinde, Cajamarca.



**8.8. ANEXO VIII: PLANOS DE DETALLE DE CONEXIÓN ENTRE LOSA COLABORANTES Y VIGAS, Y OTROS DETALLES DE CONSTRUCCIÓN.**