

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE DE
LAS LOSAS TIPO DECK**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

VICENTE PAUL GALÁN BURNEO

paulgalanburneo@hotmail.com

DAVID WILLIAM JARAMILLO GUTIÉRREZ

davidjg33@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PAUL GACHET GIACOMETTI

paulgachet@hotmail.com

Quito, Septiembre 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Vicente Paúl Galán Burneo y David William Jaramillo Gutiérrez, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Vicente Paúl Galán Burneo

David William Jaramillo Gutiérrez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Vicente Paúl Galán Burneo y David William Jaramillo Gutiérrez, bajo mi supervisión.

Ing. Paul Gachet Giacometti
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos y a todos los profesores y personal de la Escuela Politécnica Nacional.

David Jaramillo Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis es un logro conseguido a través de muchas personas que influyeron en mi vida estudiantil tanto de una manera directa o indirecta pero que siempre estuvieron ahí brindándome sus buenos consejos, enseñándome a levantar cuando uno cae, orientándome cuando uno no tiene rumbo y brindándome todo el amor como es el caso de mi familia, principalmente mis padres que día a día lucharon por dar lo mejor de ellos y sembrar en mi el cariño para seguir adelante en todo lo que me proponga.

Agradezco a mi tutor de tesis al Ing. Paúl Gachet Giacometti que confió en nosotros brindándonos constantemente su ayuda y paciencia en el Desarrollo de todo el Proyecto de Titulación.

A los Ingenieros Patricio Placencia y Jorge Vintimilla que en base a sus conocimientos nos pudieron guiar de la mejor manera.

Gracias también a todas las personas que hacen la Facultad de Ingeniería Civil en especial a las Señoras Ligia, Sonia y Cecilia.

A todos mis compañeros y amigos de la Politécnica

Paúl Galán Burneo

DEDICATORIA

A mi familia por enseñarme a saborear el mundo.

David Jaramillo Gutiérrez

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por brindarme la dicha de la vida, a mis Padres y hermanos que siempre estuvieron acompañándome a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar y seguir luchando por lo que uno anhela, y especialmente a una persona que influyó mucho en mi vida que es como mi segunda Madre mi hermanita Milena que aunque no puede estar presente en esta etapa de mi vida siempre va a estar presente en mi corazón.

Igualmente a mis sobrinitos Doménica Fernanda, Mateo Sebastián, María Eduarda y María Victoria

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
CONTENIDO	VIII
INDICE DE CUADROS	XII
INDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE FOTOGRAFIAS	XV
GLOSARIO	XVIII
RESUMEN	XIX
SUMMARY	XX
PRESENTACIÓN	XXI
OBJETIVO GENERAL	XXII
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XXII
CAPÍTULO 1.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE LOSAS DECK Y LOSAS ALIVIANADAS CON BLOQUE	3

1.3.	VENTAJAS DEL SISTEMA DE LOSAS DECK _____	4
1.4.	CODIGOS DE REFERENCIA ESTANDARES Y DOCUMENTOS _____	5
1.5.	FUNCIONES QUE CUMPLEN LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL SISTEMA DE LOSAS DECK _____	7
1.6.	PROYECTOS SIMILARES _____	11
1.7.	SOBRE LA SEGURIDAD Y EL MANEJO DEL DECK _____	11
CAPÍTULO 2. _____		13
BASES DE DISEÑO _____		13
2.1.	INTRODUCCIÓN _____	13
2.2.	DISEÑO DE LA LOSA DENTRO DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA _____	13
2.2.1	HIPÓTESIS DE CARGA _____	16
2.2.2	DETERMINACIÓN DE LA FLEXIÓN DE LA LÁMINA DE ACERO DECK ACTUANDO COMO ENCOFRADO _____	17
2.2.3	DETERMINACIÓN DE TENSIÓN POR FLEXIÓN EN EL SISTEMA NO COMPUESTO _____	18
2.2.4	CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL SISTEMA COMPUESTO _____	20
2.2.5	CONDICIÓN DE MOMENTO ÚLTIMO O RESISTENCIA A LA FLEXIÓN _____	24
2.2.6	DISEÑO POR CORTANTE _____	25
2.2.7	ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN EN EL CONCRETO _____	27
2.2.8	DEFLEXIÓN DEL SISTEMA COMPUESTO _____	27
2.3.	ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DEL PROTOTIPO _____	29
2.3.1	DIAGRAMAS DE CORTE, MOMENTO Y DEFLEXIONES _____	30
2.3.2	ESFUERZOS SUPONIENDO SECCIÓN COMPUESTA _____	34
2.3.2.1	LOCALIZACIÓN DEL EJE NEUTRO _____	34
2.3.2.2	OBTENCIÓN DE ESFUERZOS DENTRO DE LA SECCIÓN _____	38
2.3.3	ESFUERZOS SUPONIENDO SÓLO VIGA METÁLICA _____	44
2.3.4	ESFUERZOS SUPONIENDO SÓLO LOSA DECK _____	46
2.3.5	RECOPIACIÓN DE RESULTADOS _____	48
2.3.6	RESISTENCIA DE LOS CONECTORES _____	49
2.3.7	RIGIDEZ DEL SISTEMA COMPUESTO _____	51
CAPÍTULO 3. _____		54
PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO _____		54
3.1.	INTRODUCCIÓN _____	54
CAPÍTULO 4. _____		72
RESULTADOS DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE CARGA _____		72

4.1.	INTRODUCCIÓN	72
4.2.	ENSAYO LOSA 1	72
4.2.1	DESCRIPCIÓN	72
4.2.2	CICLOS DE CARGA	74
4.2.3	PÉRDIDA DE ADHERENCIA	74
4.2.4	FISURAS EN EL HORMIGÓN	76
4.2.5	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK	77
4.2.6	RESULTADO FINAL LOSA 1	78
4.3.	ENSAYO DE LOSA 2	79
4.3.1	DESCRIPCIÓN	79
4.3.2	CICLOS DE CARGA	80
4.3.3	PÉRDIDA DE ADHERENCIA	81
4.3.4	FISURAS EN EL HORMIGÓN	82
4.3.5	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK	83
4.3.6	RESULTADO FINAL LOSA 2	84
4.4.	ENSAYO DE LOSA 3	85
4.4.1	DESCRIPCIÓN	85
4.4.2	CICLOS DE CARGA	86
4.4.3	PÉRDIDA DE ADHERENCIA	87
4.4.4	FISURAS EN EL HORMIGÓN	88
4.4.5	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK	88
4.4.6	RESULTADO FINAL LOSA 3	89
4.5.	ENSAYO DE LOSA 4	90
4.5.1	DESCRIPCIÓN	90
4.5.2	CICLOS DE CARGA	91
4.5.3	PÉRDIDA DE ADHERENCIA	92
4.5.4	FISURAS EN EL HORMIGÓN	93
4.5.5	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK	94
4.5.6	RESULTADO FINAL LOSA 4	95
4.6.	ENSAYO SOBRE EL HORMIGÓN	96
4.6.1	DESCRIPCIÓN	96
4.6.2	ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN	96
4.6.3	RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESION	97
4.6.4	ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN	97
CAPÍTULO 5.		98
ANÁLISIS DE RESULTADOS		98
5.1.	ANÁLISIS ESFUERZO DEFORMACIÓN	101
5.2.	ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ	103
5.3.	CONSIDERACIÓN DEL AGRIETAMIENTO DEL HORMIGÓN	105

CAPÍTULO 6.	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
6.1. CONCLUSIONES	108
6.2. RECOMENDACIONES	111
CAPÍTULO 7.	113
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	113

INDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1.	INERCIA DE LA VIGA I RESPECTO AL EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	37
CUADRO 2.2.	INERCIA TOTAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	41
CUADRO 2.3.	INERCIA DE LA VIGA I. _____	44
CUADRO 2.4.	INERCIA DE LA LOSA DECK. _____	47
CUADRO 2.5.	RECOPILACIÓN DE RESULTADOS. _____	48
CUADRO 2.6.	CARGA P PARA QUE FALLEN CONECTORES. _____	51
CUADRO 3.1.	LOSAS A ENSAYARSE CON SUS CONECTORES DE CORTE _____	57
CUADRO 4.1.	ENSAYOS DE COMPRESIÓN CORRESPONDIENTE A LAS LOSAS _____	97
CUADRO 5.1.	CARGA FINAL PARA CADA LOSA. _____	99

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1.	CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA. _____	14
FIGURA 2.2.	CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL. _____	15
FIGURA 2.3.	CONDICIÓN DE APOYO EN TRES TRAMOS _____	18
FIGURA 2.4.	FLEXIÓN DE VIGA EN TRES TRAMOS _____	19
FIGURA 2.5.	DIMENSIONES PARA DISEÑO. _____	21
FIGURA 2.6.	AREA DE CONCRETO CONTRIBUYENTE. _____	26
FIGURA 2.7.	DIAGRAMAS DE CORTE Y MOMENTO DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	30
FIGURA 2.8.	DETALLE DE SECCIÓN COMPUESTA. _____	34
FIGURA 2.9.	DETALLE DE LA SECCIÓN I RESPECTO AL EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	37
FIGURA 2.10.	NOMBRES DE LOS MATERIALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	39
FIGURA 2.11.	INERCIA TOTAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	40
FIGURA 2.12.	PUNTOS DE ANALISIS DE LA SECCIÓN COMPUESTA. _____	41
FIGURA 2.13.	GEOMETRIA DE LA VIGA METÁLICA. _____	44
FIGURA 2.14.	INERCIA SECCION LOSA DECK. _____	46
FIGURA 2.15.	TRANSFORMACIÓN DE TODA LA SECCIÓN A UN SOLO MATERIAL _____	52
FIGURA 3.1.	TORNILLOS AUTOROSCANTES _____	56
FIGURA 3.2.	DIMENSIONES DEL APOYO. _____	70
FIGURA 3.3.	UBICACIÓN DE LOS LVDTs. _____	71
FIGURA 4.1.	ARMADO COMPLETO DE LA SECCIÓN COMPUESTA A ENSAYARSE _____	73
FIGURA 4.2.	CARGA VS DEFORMACION _____	74

FIGURA 4.3.	ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA SEGUNDA LOSA _____	80
FIGURA 4.4.	CARGA VS DEFORMACION _____	81
FIGURA 4.5.	ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA LOSA 3 _____	86
FIGURA 4.6.	CARGA VS DEFORMACION _____	87
FIGURA 4.7.	ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA LOSA 4 _____	91
FIGURA 4.8.	CARGA VS DEFORMACION _____	92
FIGURA 5.1.	DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA VIGA I _____	99
FIGURA 5.2.	DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA _____	100
FIGURA 5.3.	DIAGRAMA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA _____	100
FIGURA 5.4.	COMPARACIÓN ENTRE DEFORMACIONES. _____	102
FIGURA 5.5.	COMPARACIÓN DE LA RIGIDEZ. _____	104
FIGURA 5.6.	SECCIÓN COMPUESTA MODIFICADA POR EL FACTOR N _____	107

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTO 3.1.	CORTE DE LA PLANCHA A 1X1 M. _____	54
FOTO 3.2.	COLOCACIÓN DE PERNOS PARA ASEGURAR EL TRASLAPE DE LAS PLANCHAS. _____	55
FOTO 3.3.	SOLDADA DE LOS CONECTORES DE CORTE. _____	58
FOTO 3.4.	CONECTORES DE CORTE COLOCADOS DE MANERA ZIGZAGUEANTE SOBRE EL EJE LONGITUDINAL. _____	59
FOTO 3.5.	CONECTORES DE CORTE UPN COLOCADOS CAMBIANDO DIRECCIÓN EN CADA VALLE. _____	59
FOTO 3.6.	CONECTORES DE CORTE CON VARILLA DE 16MM. _____	60
FOTO 3.7.	CONECTORES DE CORTE EN FORMA DE ARCO CON VARILLA DE 10MM. _____	61
FOTO 3.8.	CONECTORES DE CORTE CON SECCIONES UPN. _____	61
FOTO 3.9.	VARILLAS SOLDADAS A LA VIGA I PARA MEJOR MANIPULACIÓN E IZAJE DE LAS LOSAS DECK. _____	62
FOTO 3.10.	ENCOFRADO DE LAS LOSAS. _____	63
FOTO 3.11.	TIMBRADO DEL NIVEL MÁXIMO DE FUNDICIÓN. _____	63
FOTO 3.12.	CORTADO DE LA MALLA ELECTROSOLDADA. _____	64
FOTO 3.13.	COLOCACIÓN DE LA MALLA ELECTROSOLDADA. _____	64
FOTO 3.14.	VERTIDO DE HORMIGÓN. _____	65
FOTO 3.15.	ENLUCIDO DEL HORMIGÓN. _____	65
FOTO 3.16.	CURADO DEL HORMIGÓN. _____	66
FOTO 3.17.	FABRICACIÓN DE PROBETAS. _____	66
FOTO 3.18.	CURADO DE PROBETAS. _____	67
FOTO 3.19.	IDENTIFICACIÓN DE LAS LOSAS. _____	67

FOTO 3.20.	IMPERFECCIONES EN EL ENCOFRADO DE LAS LOSAS. _____	68
FOTO 3.21.	IZAJE DE LAS LOSAS. _____	68
FOTO 3.22.	INSTALACIÓN DE LOS APOYOS. _____	69
FOTO 3.23.	AJUSTE DE LOS ANCLAJES DE LOS APOYOS. _____	69
FOTO 4.1.	PERDIDA DE ADHERENCIA ENTRE EL DECK Y EL HORMIGÓN _____	75
FOTO 4.2.	FISURAS PRESENTADAS DURANTE LOS DISTINTOS CICLOS DE CARGA _____	76
FOTO 4.3.	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LOS DISTINTOS VALLES _____	78
FOTO 4.4.	RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA _____	79
FOTO 4.5.	PERDIDA DE ADHERENCIA CON RESPECTO AL INCREMENTO DE CARGA _____	82
FOTO 4.6.	FISURAS PRESENTES EN LA LOSA 2 DURANTE LOS DISTINTOS CICLOS DE CARGA _____	83
FOTO 4.7.	VISTA POR DEBAJO DE LA SECCIÓN COMPUESTA DONDE SE EVIDENCIA LA CARENCIA DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y SU FIJACIÓN VIGA-DECK. _____	84
FOTO 4.8.	RESULTADO FINAL UNA VEZ APLICADA TODOS LOS CICLOS DE CARGA. _____	85
FOTO 4.9.	COMPARACIÓN DE ADHERENCIA CON RESPECTO A CARGAS APLICADAS _____	88
FOTO 4.10.	FISURAS QUE SE PRESENTAN EN LA LOSA DE HORMIGÓN. _____	88
FOTO 4.11.	MUESTRA QUE EL DECK SE MANTIENE EN LA MISMA POSICIÓN ANTES Y DESPUÉS DE APLICADO LOS CICLOS DE CARGA. _____	89
FOTO 4.12.	RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA UNA VEZ APLICADA TODOS LOS CICLOS DE CARGA. _____	90
FOTO 4.13.	DESPRENDIMIENTO DE LA PLACA COLABORANTE DURANTE TODO EL PROCESO DE APLICACIÓN DE CICLOS DE CARGA, _____	93
FOTO 4.14.	FISURAS PRESENTES EN EL ENSAYO _____	94
FOTO 4.15.	MUESTRA AL DECK CON UNA CARENCIA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL _____	94

FOTO 4.16.	RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA YA APLICADA TODOS LOS CICLO DE CARGA _____	95
FOTO 4.17.	GEOMETRÍA, MEDICIÓN, PESO Y ROTURA DE LOS CILINDROS _____	97

GLOSARIO

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

ASTM: American Association for Testing Materials

SDI: Steel Deck Institute

ANSI: American Iron and Steel Institute

AISC: American Institute of Steel Construction

AWS: American Welding Society

ACI: American Concrete Institute

CEC: Código Ecuatoriano de la Construcción

RESUMEN

El presente trabajo pretende diseñar, experimentar, analizar y explicar el comportamiento de las Losas Deck en prototipos ensamblados con distintos conectores de corte. El sistema de Losas Deck es un método constructivo que cumple las mismas funciones que un sistema de losas nervadas de hormigón armado, sin embargo, se le atribuyen algunas ventajas y desventajas adicionales. Algunas de las propiedades de estas losas dependen de los conectores de corte que se colocan, es por esto que para los prototipos se utilizaron tres tipos de conectores: varillas de 16mm, arcos de 10mm y secciones UPN comparándolas con una losa sin conectores.

El primer paso a seguir fue obtener un modelo de la Losa Deck acorde a lo establecido en los manuales de diseño de los proveedores y subsecuentemente contrastarlo con un diseño basado en la resistencia de materiales. En primera instancia se utiliza los manuales y la ficha técnica provista por los fabricantes; a este punto fue necesario plantear una distribución arquitectónica real de la que se derive nuestro prototipo y con la que se pueda diseñar una losa. El segundo planteamiento funcionó al abstraer la forma del prototipo y someterlo a las cargas que se esperaban en el laboratorio. Como se puede deducir, el prototipo ensayado fue el resultado de extraer una muestra de la distribución arquitectónica del bosquejo inicial.

El uso de los resultados experimentales sirvió para dar una explicación al fenómeno visto en los ensayos y definir el comportamiento de la estructura. El análisis se centró en la conducta del esfuerzo vs deformación del prototipo y su módulo de elasticidad. El diseño realizado durante la concepción del prototipo corroboró en la explicación de algunos resultados obtenidos. Entendiendo lo sucedido en los ensayos se pudo dilucidar sobre el posible comportamiento de este tipo de losas en una edificación especialmente al estar expuesta a un sismo.

SUMMARY

This paper aims to design, test, analyze and explain the behavior of prototype assemblies Deck Slabs with different shear connectors. Deck Slab system is a method which meets the same constructive fusions that a system ribbed slabs of reinforced concrete, however, are assigned some additional advantages and disadvantages. Some of the properties of these slabs depend on shear connectors that are placed, which is why the prototypes were used for three types of connectors, rods of 16mm, 10mm and arches UPN comparing sections with a slab without connectors.

The first step to take was to obtain a model of Deck Slab according to the provisions in the design manuals of the suppliers and subsequently contrasted with a design based on the strength of materials. In the first instance using the manuals and technical specifications provided by the manufacturers at this point was necessary to make a real architectural distribution arising our prototype with which to design a slab. The second approach worked by abstracting the prototype form and submit it to the loads to be expected in the laboratory. As you might guess, the prototype tested was the result of extracting a sample of the architectural layout of the initial draft.

Using the experimental results served to give an explanation to the phenomenon seen in the trials and define the behavior of the structure. The analysis focused on the conduct of the effort vs. deformation of the prototype and its modulus of elasticity. The design made during the design of the prototype confirmed in explaining some results. Understanding what happened in the trials could elucidate on the possible behavior of such slabs in a building especially when exposed to an earthquake.

PRESENTACIÓN

La necesidad que tenía el mercado de un sistema de losas más liviano y fácil de construir comenzó la utilización de las losas compuestas con placas colaborante, en nuestro medio más conocidas como Losas Deck. La gran ventaja sísmica que brinda el tener un sistema de losas tan liviano como este, hizo que se lo tomara en cuenta para una investigación. En adición se encuentran algunos otros atributos constructivos como la velocidad de ensamblaje y la omisión del encofrado. A este punto nació la idea del proyecto que intenta alejar criterios poco fundamentados radicados en los usuarios de este sistema constructivo.

El arquetipo Ecuatoriano de las Losas Deck aplicado en determinadas construcciones no tomaba muy en cuenta la influencia de los conectores de corte en el montaje de este sistema constructivo. Esta fue una de las dudas extraídas por el Ingeniero Paúl Gachet después de haber observado los resultados dejados por el último gran terremoto Chileno. Para superar estas incógnitas se prepararon los prototipos del proyecto con distintos conectores de corte. Los conectores de corte elegidos para el ensayo fueron seleccionados según indagaciones hechas en el campo de la construcción y acogiendo las observaciones dadas en los códigos pertinentes.

Mediante este proyecto se pretende permitir que este sistema de losas con placas colaborantes se arraigue en las construcciones en este país. Junto con las conclusiones y recomendaciones se espera que esta investigación pueda ser ampliada en el futuro. Las expectativas de este proyecto se verán superadas al tener alguna influencia en la manera en que se utilizan este tipo de losas o en permitir que el lector amplíe sus conocimientos preliminares de las Losas Deck.

OBJETIVO GENERAL

Obtener información necesaria del comportamiento de las Losas Deck a través de prototipos ensayados en laboratorio construidos con distintos conectores de corte.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reproducir un modelo real de la sección compuesta viga, losa y deck a través de distintos conectores de corte para de esta manera obtener información sobre su comportamiento.
- Ensayar el modelo para resistir una carga vertical que lleve a la estructura a sus límites y así poder comparar los diferentes tipos de conectores.
- Predecir teóricamente el comportamiento de sus respectivos conectores de corte.
- Observar las características físicas visibles de las losas a lo largo de los ensayos.
- Deslumbrar sobre las posibilidades que se pueden presentar en este modelo experimental para así llegar a conclusiones específicas y detalladas del mismo.
- Realizar una comparación entre las distintas rigideces experimentales presentadas en cada losa con las predicciones teóricas desarrolladas a lo largo del estudio.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1.INTRODUCCIÓN

El tema de este documento de investigación es el ensayo experimental de las losas tipo Deck concretamente en la habilidad de los conectores de corte para manejar la sección compuesta. El tema implica el experimentar con prototipos que ayuden a dilucidar el comportamiento de los conectores de corte comúnmente utilizados en las construcciones en el Ecuador. La comparación de resultados entre las losas con diferentes conexiones para cortante y una losa sin conexión por corte nos mostrará las luces del comportamiento de lo que se desea evaluar.

La demanda de estructuras cada vez más livianas con requerimientos que exige la ingeniería tanto en el diseño como en su construcción ha sido el motivo por el cual se ha arraigado este sistema y la razón de este proyecto. Se espera que este sistema constructivo además conlleve seguridad, funcionalidad, reducción en el costo de la obra aparte de otras virtudes requeridas en la construcción.

A pesar de que el sistema se lo viene usando a nivel mundial desde los años 50, en nuestro país se ha arraigado solo en los últimos años bajo la necesidad de tener mayor cantidad de edificaciones de varios pisos al menor costo y lo más aceleradamente posible. De este postulado nace la importancia del proyecto contractual ya que el mercado constructivo ha puesto sobre el tapete nuevas exigencias que intentan ser cubiertas con el sistema de Losas Deck.

La introducción al país del sistema con paneles metálicos se la hizo realizando algunas adaptaciones que iban de acuerdo a las disponibilidades que se tiene en las obras. La problemática comenzó entonces cuando la necesidad de

adaptar este sistema constructivo a métodos Ecuatorianos se la ha cubierto sin el amparo de ninguna normativa. La finalidad de este proyecto se encuentra entonces en respaldar o abandonar algunas creencias sostenidas en el país sobre la utilización de los conectores de corte mediante el uso de métodos experimentales. No es del alcance de este proyecto el crear una doctrina completa sobre la utilización de las Losas Deck pero si se intenta crear pautas puntuales que aseguren el buen funcionamiento de este sistema constructivo en una estructura.

El código del Steel Deck Institute de Estados Unidos es el regente de la construcción de las losas con panel metálico. Como otros códigos a este se lo ha adoptado para la construcción de las Losas Deck en el Ecuador; sin embargo, tras la adaptación en el país de este sistema constructivo se han introducido variantes no previstas por el código Americano. Al respecto no existen antecedentes teóricos que hablen del como la utilización de estas variantes afectan el comportamiento de una Losa Deck. En el Ecuador existen varios documentos de investigación en los que se hace mención de la utilización de losas con paneles metálicos pero no se investiga específicamente algún aspecto del funcionamiento de este sistema constructivo. Los documentos que incluyen a las Losas Deck en el tema únicamente lo hacen de forma general y para dar solución a otras problemáticas y no para explicar el funcionamiento de la Losa Deck. El manual de diseño del Deck es en si un documento teórico con un antecedente práctico pero al respecto de los conectores de corte deja una ventana abierta que intenta ser cerrada con el presente proyecto.

La metodología utilizada para descifrar parte del comportamiento de las losas Deck comenzó con esbozar los posibles resultados de los ensayos haciendo un diseño del sistema compuesto viga losa. Una vez obtenido resultados de los ensayos fue posible sacar conclusiones a partir de la comparación de los datos arrojados por el prototipo y su respectivo diseño inicial.

El obtener datos experimentales del comportamiento de los diferentes conectores de corte de las losas Deck significa que se puede acortar la brecha entre las prácticas empíricas y el verdadero funcionamiento de este sistema constructivo. A partir de este proyecto se pueden dar recomendaciones mejor sustentadas para la aplicación de sistemas de losas con paneles metálicos en las construcciones.

Las limitaciones que se presentaron en el proyecto tienen que ver con el espacio físico y las herramientas disponibles en el laboratorio. No era apropiado desarrollar un prototipo demasiado grande en el que resulte difícil manipular y obtener datos. Ya que los ensayos se enfocaron más en los conectores de corte, se optó mejor por un prototipo que cupiera dentro de un pórtico donde se pudiera aplicar de mejor manera las cargas. Las herramientas que se tenían en el laboratorio y la pieza hecha para aplicar las cargas fueron también delimitantes del tipo de ensayo escogido. El corto tiempo fue un factor que decidió no sólo las características del ensayo sino también la simplicidad de la metodología de análisis.

1.2.COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE LOSAS DECK Y LOSAS ALIVIANADAS CON BLOQUE

El sistema de losas nervadas alivianadas con bloque es el que más comúnmente se utiliza en el país y sin negar sus ventajas se ha querido compararlo con el de losas de planchas de acero presentado en este proyecto de titulación. Entre las ventajas que brinda este sistema constructivo si lo comparamos con un sistema convencional de losas alivianadas con bloque se encuentran: la ausencia de encofrados lo que incluye también a los puntales metálicos o de madera aunque en ciertos casos la separación entre viguetas es muy grande se vuelve necesario apuntalar. Como segundo paso en la construcción de una losa nervada alivianada se encuentra el timbrado, lo que en las losas Steel Deck no existe. En las losas tipo Deck en donde la colocación de los bloques y el doblado de las marcas de acero de refuerzo se omiten, el tiempo de construcción disminuye. El hecho de que sea una plancha

preformada hace que la demora se enfoque solo en la colocación del corrugado de acero que tiene su símil en la losa nervada momento de la colocación de refuerzos de acero corrugado alrededor de toda la losa. Si la plancha metálica se la compara con las varillas de refuerzo entonces el alivianamiento es comparable con el espacio vacío que queda entre el corrugado y las vigas donde se asienta el Deck. Los conectores de corte son el detallamiento que no existe en la construcción de las losas alivianadas, pero aunque en algunas ocasiones se los omite por el tiempo que puede demorar a la construcción estos con la herramienta correcta podrían no ser un contratiempo en el ensamblaje del Steel Deck. La colocación de una malla por temperatura y por contracción de fragüe es un paso inevitable en las Losas Deck pero imprescindible en algunas losas alivianadas. Finalmente el vertido del hormigón es irremediable en cualquiera de los dos casos, sin embargo los desperdicios pueden ser mayores en algunas losas alivianadas puesto que este se pierde mas fácilmente entre los alivianamientos. En comparación la cantidad de hormigón utilizado en las losas es siempre mayor en las losas alivianadas con bloque.

1.3.VENTAJAS DEL SISTEMA DE LOSAS DECK

Entre otras ventajas sobre la utilización del sistema de losas Deck se nombran las siguientes: la maniobrabilidad que tienen los paneles, el fácil almacenamiento, la ventaja de que las planchas pueden ser previamente cortadas en fábrica, previo al traslado a obra y el fácil transporte. Estas entre otras son las ventajas que se pueden tener al momento de construir con el sistema de losas Deck. Pero sobretodo se deben resaltar las ventajas estructurales, el que se pueden construir losas muy livianas. La reducción en peso puede significar hasta una tercera y cuarta parte de reducción en el peso total de las losas con relación a un sistema de losas alivianadas con bloque. Esta es una reducción importante ya que como se sabe el factor peso en la acción de un sismo juega un papel fundamental.

Respecto al factor económico este tipo de losas en el mercado ecuatoriano no significan una reducción importante en el presupuesto sin embargo la diferencia se encuentra en el momento del montaje ya que el tiempo de instalación se reduce lo que globalmente en ciertas obras podría ahorrar mucho dinero en el presupuesto.

1.4.CODIGOS DE REFERENCIA ESTANDARES Y DOCUMENTOS

Las normativas utilizadas en este proyecto de titulación se deben primero diferenciar el cálculo de las losas Deck como sistema constructivo y el cálculo que se realizo con motivo de los ensayos hechos en laboratorio. En el país la deducción de este sistema constructivo se lo hace con la ayuda de tablas que proveen los fabricantes del Panel Metálico en base a luces y espaciamientos entre viguetas que se vayan a cubrir, de esta manera se obtienen valores para la instalación del panel de acero y el hormigón¹. Sin embargo el desarrollo de este tipo de losas va más allá de esto ya que el diseño también involucra el cálculos y detallamiento de los conectores de corte, diseños de instalaciones sanitarias y ductos de ventilación, aparte el cálculo de las losas para corte, momento y deflexión es más minucioso que la simple utilización de las tablas provistas por los fabricantes del panel metálico.

Lo dicho anteriormente se fundamenta en las exigencias de la normativa existentes en otros países que para nuestro caso serían principalmente las normativas del SDI que es el Steel Deck Institute, esta normativa Estadounidense con sede en Chicago, Illinois es la que nos brinda las pautas principales para el cálculo de este sistema constructivo². Este código de construcción a su vez se fundamenta en otros códigos de referencia que se los enumera a continuación.

¹ Referirse a la tabla del Anexo N° 3

² SENCICO. (s.f.). MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. Lima, Perú.

American Iron and Steel Institute (ANSI) que es el estándar norteamericano para el diseño de miembros estructurales conformados en frío. A la par de este código se encuentra su similar que es el American Institute of Steel Construction (AISC) que habla de las especificaciones para la construcción de edificios en acero.

Después de diseñar los elementos principales de una estructura, estos elementos necesitarán unirse en varios lugares en donde el detallamiento de conexiones exige involucrar a códigos como el American Welding Society (AWS) que se lo involucra por el hecho de tener varios elementos metálicos soldados. Para este proyecto de titulación la soldadura juega un papel fundamental en la demostración de nuestro objetivo principal que tiene que ver con la capacidad de las conexiones. En capítulos subsiguientes se verá la importancia de la suelda en este tipo de sistema constructivo de Losas Deck.

Al contener hormigón el sistema constructivo involucra también al código del American Concrete Institute (ACI) que es al que se referirá para lo que tiene que ver con hormigón.

El código de la American Society for Testing Materials (ASTM) es el que involucra la normativa para el trabajo en los laboratorios ya sea el de hormigón o el laboratorio de la vivienda. La norma específica utilizada para los ensayos de los cilindros de hormigón está especificada en los resultados dados por los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional y el de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador¹.

Los códigos antes mencionados nos sirven para el caso del cálculo del sistema constructivo como tal, mismo sistema del que se tomó una muestra para ensayo en el laboratorio de la vivienda.

¹ Ver Anexo N° 1 y 2

En el cálculo previo a los ensayos se profundizó principalmente en los conceptos de Resistencia de Materiales así como en las exigencias que planteó el Laboratorio de la Vivienda.

Como habíamos dicho previamente varios de los componentes utilizados en el sistema de losas Deck son metálicos. En su mayoría, estos componentes buscan tener la misma facilidad de ensamblaje que las losas Deck y es por esto que se procura generalizarlos en el resto de la estructura. La construcción en acero facilita la compatibilidad con el sistema de losas Deck, entre otras cosas por que se evita que se involucren detallamientos que tienen que ver con otros sistemas constructivos como es el encofrado, el timbrado y las varillas de acero dobladas. Aparte de esto la compatibilidad del montaje en acero con las losas Deck se afianza por que se asegura la construcción monolítica de los elementos. Para nuestro caso particular se tomó una vivienda promedio como motivo para la fabricación de una estructura de acero¹. Subsecuentemente esta estructura de acero sirvió como base para el desarrollo del prototipo que se ensayo en el laboratorio.

1.5.FUNCIONES QUE CUMPLEN LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL SISTEMA DE LOSAS DECK

Entre las funciones que cumplen los diferentes componentes se enlistan las siguientes:

La placa colaborante cumple tres funciones primordiales. La función de encofrado del hormigón, imponiendo un cuidado en el detallamiento y en el ensamblaje de la placa metálica; por que esta deberá resistir cargas de servicio por el vertido del hormigón fresco, aparte de soportar las cargas puntuales que los trabajadores ejercen sobre el Deck. La segunda y muy importante función que debe cumplir es de refuerzo para momentos positivos es decir resiste la tracción de las fibras inferiores. Por ultimo al funcionar como encofrado a la

¹ La vivienda promedio de la que se habla consta en el Subcapítulo 2.2

placa también se le atribuye la función de plataforma para la colocación de los otros componentes como es la malla, los ductos de desagüe, los conectores de corte, el vertido del hormigón y el simple tránsito de los trabajadores y operarios de la construcción¹.

La malla electrosoldada por su parte en lo que refiere al sistema constructivo cumple la función de refuerzo por temperatura por lo tanto se rige a la norma del American Concrete Institute. Sin embargo para nuestro caso particular la malla puede actuar también como un refuerzo estructural ya que en el laboratorio se llevará los materiales al límite; la presencia de la malla puede llegar a influir en los resultados aunque en los manuales de cálculo no se la toma como un refuerzo.

El hormigón en cambio es el material que en el sistema constructivo soporta la compresión de la losa. No es parte del objetivo de este proyecto de titulación el profundizar en el proceso de dosificaciones ni dar mucha coyuntura al hormigón. Por otra parte el hormigón en nuestro ensayo es un elemento importante en la constitución de la sección compuesta resistente a las cargas de la prueba. Por tal motivo en el análisis del hormigón, nos enfocaremos en sus propiedades que nos avizoren teóricamente el posible comportamiento de la sección compuesta. Esta es la razón por la cual se recurrirán a los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad en el laboratorio de hormigones, paralelamente a los ensayos que se realicen en el laboratorio de la vivienda. De igual manera los ensayos en el laboratorio de hormigones estarán regidos por las normas y especificaciones exigidas por esta entidad². Durante el ensayo se prevé también que el hormigón pueda fallar a corte ya que lo que se intenta es que fallen los conectores, es decir no se esperó

¹ SENCICO. (s.f.). MANUAL TÉCNICO SISTEMA CONSTRUCTIVO PLACA COLABORANTE ACERO-DECK. Lima, Perú: Departamento de Investigación y Desarrollo ACEROS PROCESADOS S.A.

² American National Standards Institute. (2006). *STEEL DECK INSTITUTE COMPOSITE STEEL FLOOR DECK*. Chicago: ANSI Accredited Standards Developer.

únicamente la falla a flexión de los elementos como sucede en la práctica, que se diseña eminentemente para una falla por flexión.

Los conectores de corte por su parte tienen una función muy importante en el sistema ya que son los que mantienen trabajando a la sección compuesta en forma monolítica. Su función básicamente es hacer trabajar al hormigón, a la plancha metálica y a la viga de acero como un solo objeto. Para nuestro caso se escogieron tres tipos de conectores: las varillas simples, las varillas en forma de arco y las secciones UPN. Se decidió hacer las losas con conectores de varilla por que es muy común en nuestro medio aparte de la facilidad para conseguirlas e instalarlas. Las secciones UPN fueron escogidas debido a que el Código de Acero contempla este tipo de conectores junto con los conectores tipo Stud¹. Vale la pena traer a discusión que los conectores tipo Stud no fueron considerados para los ensayos por su poca difusión en el país aparte de su escases y su complicación en la instalación; ya que se requiere de una suelda especial para poder instalarlos. Aparte de estos tres ensayos antes mencionados se realizó una prueba sin conectores de corte para tener una referencia entre los valores obtenidos con cada una de las losas. Los conectores de corte aparte de hacer que la sección compuesta trabaje en forma conjunta cumplen la función de contrarrestar las cargas horizontales en el sistema². Idealmente si los conectores cumplen su cometido el área de la sección que trabaja en contra de las cargas aumentaría trasladando el eje neutro hacia el hormigón lo que significa que se deja que el hormigón sea el que soporte únicamente fuerzas de compresión y el resto del sistema trabaje para la tracción. Si se compara la inercia que tiene la viga con la inercia que posee la sección compuesta vemos que la sección mixta tiene una inercia mucho mayor. Esta es una gran ventaja ya que significaría que esta sección

¹ American Institute of Steel Construction Inc. (s.f.). *STEEL CONSTRUCTION MANUAL* (Thirteenth Edition ed.).

² SENCICO. (s.f.). *MANUAL TÉCNICO SISTEMA CONSTRUCTIVO PLACA COLABORANTE ACERO-DECK*. Lima, Perú: Departamento de Investigación y Desarrollo ACEROS PROCESADOS S.A.

absorbería de mejor manera las deformaciones y que aparte se reduciría la magnitud de secciones que se deben utilizar como vigas y viguetas metálicas. Como planteamiento hipotético la consecuencia de que este sistema trabaje como una sección compuesta le brinda una gran ventaja frente a otros sistemas; sin embargo, parte de las incógnitas planteadas en este proyecto de titulación es hasta que punto estas secciones trabajan como secciones compuestas y en que medida varían los resultados utilizando uno u otro conector de corte. La consecuencia inmediata de que se disminuyan las secciones de las vigas y viguetas es la reducción en el costo de construcción junto con una reducción de aproximadamente el 20% en peso. Al tener una membrana más delgada en la edificación se puede incluso aprovechar mejor las alturas de entrepiso.

Junto con las planchas metálicas los proveedores de estos sistemas constructivos venden tornillos fijadores de las planchas que son de dos tipos; unos son más largos y sirven para adherir temporalmente las planchas a la viga y los más pequeños sirven para unir a las planchas en el traslape. El tornillo de menor longitud viene con una rodela de un material especial para que la abertura por la que entra el tornillo quede herméticamente sellada. Estos tornillos cumplen funciones práctica en la instalación y por ende no se los ha considerado en el cálculo sin embargo puede que estos tornillos modifiquen en cierta medida los resultados de los ensayos.

Como último elemento se encuentra la viga de acero. Esta cumple la función de soportar parte del peso de la losa Deck junto con las cargas que se pudieran dar durante su tiempo de vida. Las vigas de acero se destinan para trabajar a tracción especialmente si la losa está trabajando conjuntamente con ellas. Cabe recalcar que se habla de vigas de acero ya que son las más compatibles con este sistema y a la vez las más utilizadas, pero este procedimiento de losas Deck también se los puede construir sobre una estructura de pórticos de hormigón. Como en otros sistemas constructivos las vigas ya sean metálicas o de hormigón serán las encargadas de transmitir las fuerzas a las columnas.

1.6.PROYECTOS SIMILARES

El sistema constructivo con Losas Deck es ampliamente utilizado en países como los Estados Unidos y el Perú es por esto que existe ya un código de construcción al respecto. La excepción se encuentra cuando hablamos de este sistema constructivo en nuestro país ya que aquí se adoptan códigos extranjeros sin tomar en cuenta nuestras variantes. A pesar de que las empresas que promocionan este método constructivo dan ciertas especificaciones para la facilidad del cálculo de este tipo de losas, el vacío se encuentra justamente en la ausencia de un manual de diseño completo en el Ecuador que justifique el uso de ciertos elementos contenidos en este procedimiento constructivo.

Es por esta razón que no existen precedentes en el país de otros proyectos que tengan que ver con la experimentación y ensayo con los conectores de corte de este sistema constructivo ni con ningún otro en particular. Debido a que el conector de corte es un factor importante y muchas veces descuidado en el montaje del sistema de Losas Deck, dando lugar a la improvisación de otros tipos de conectores; se ha visto la necesidad de comenzar a implementar una norma para este sistema constructivo en este punto en particular.

1.7.SOBRE LA SEGURIDAD Y EL MANEJO DEL DECK

Al igual que con otros sistemas constructivos la seguridad y el manejo apropiado de las Losas Deck es imperativo. Para esto se utilizó el Manual de Manejo del Steel Deck Institute¹. Dicho manual hace referencia a este en particular de manera más amplia. En este proyecto de titulación al tener como objeto principal de experimentación a las Losas Deck se ve la necesidad de regirse por este manual de manejo.

¹ Steel Deck Institute. (2006). *SDI MANUAL OF CONSTRUCTION WITH STEEL DECK* (Second Edition ed.). Chicago.

El montaje y la construcción del ensayo referente a este proyecto se tomó muy en cuenta las recomendaciones de soldadura del American Welding Society y del Steel Deck Institute para que las posibles fallas de los elementos se den por fatiga de los mismos y no por una deficiente instalación o manejo del proceso.

A pesar de que la construcción del ensayo no es de gran magnitud, las precauciones no pueden faltar. Es importante para esto la utilización de las herramientas de protección adecuadas como son los guantes que son necesarios por que se trabaja con materiales afilados y herramientas de corte mecánico. El casco es necesario para el transporte, izaje y manejo de los materiales. La mascara de soldadura y la mascara traslucida son necesarias por la utilización de suelda de electrodo y herramienta de desbaste.

El ensayo como esta concebido sirve para soportar las cargas longitudinalmente en el eje de la viga. Sin embargo en el sentido transversal de la viga el ensayo es un tanto inestable y esto se tuvo que considerar en el armado y montaje en el laboratorio.

CAPÍTULO 2

BASES DE DISEÑO

2.1.INTRODUCCIÓN

En la elaboración de este proyecto de titulación se contó con dos tipos de análisis de diseño. El primero tiene relación directa con el comportamiento de la losa dentro de una estructura aporticada (de esta manera se encontró las ventajas de este diseño sobre el tradicional con bloques de aliviamiento)¹. El segundo análisis tiene su raíz en el primero, pues es una sección de losa con dimensiones de: tres metros de longitud por un metro de ancho 3.0x1.0 [m], el cual sirvió para entender y calcular el comportamiento, transmisión de fuerzas internas dentro de esta estructura, y la búsqueda del esfuerzo constante que soportan los conectores. Este análisis es de gran importancia así mismo para cuantificar hasta qué punto los elementos de este tipo de losa se comportan como una única estructura, o como elementos independientes, pues si falla el conector no tendría un comportamiento monolítico. Finalmente nos sirvió para comparar la resistencia de cada tipo de conector con referencia a los ensayos realizados. Para desarrollar este último análisis del diseño se utilizó la resistencia de materiales.

2.2.DISEÑO DE LA LOSA DENTRO DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA

El tener una estructura desde la que se derive nuestro ensayo, primero se planteó una configuración arquitectónica a partir de la cual se obtuvo una estructura con la cual diseñar. La configuración arquitectónica se muestra en la Figura 2.1.

¹ El primer análisis de diseño se lo realizó con la ayuda de la tabla de diseño del fabricante que se encuentra en el Anexo N°3 y del documento:

SENCICO. (s.f.). MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. Lima, Perú.

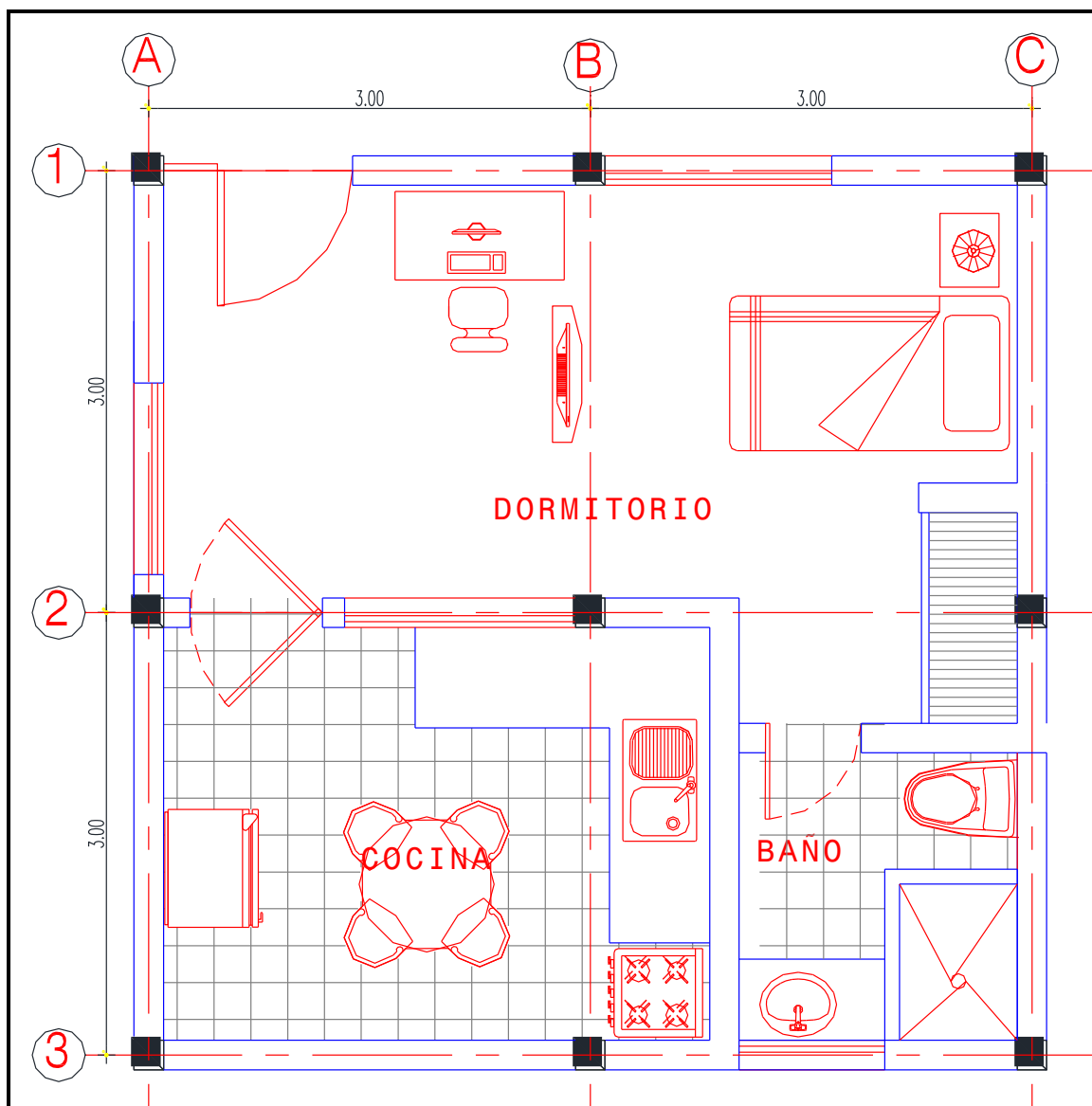


FIGURA 2.1. CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA.
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Para que la estructura que soluciona esta arquitectura se acople a las limitaciones del laboratorio se planteó la solución que se muestra en la Figura 2.2. En la figura el área de diseño tiene 1m de ancho por 3m de largo. Esta área permite a la losa entrar entre el pórtico de apoyo del pistón que aplica la carga y los apoyos colocados a los extremos de la losa.

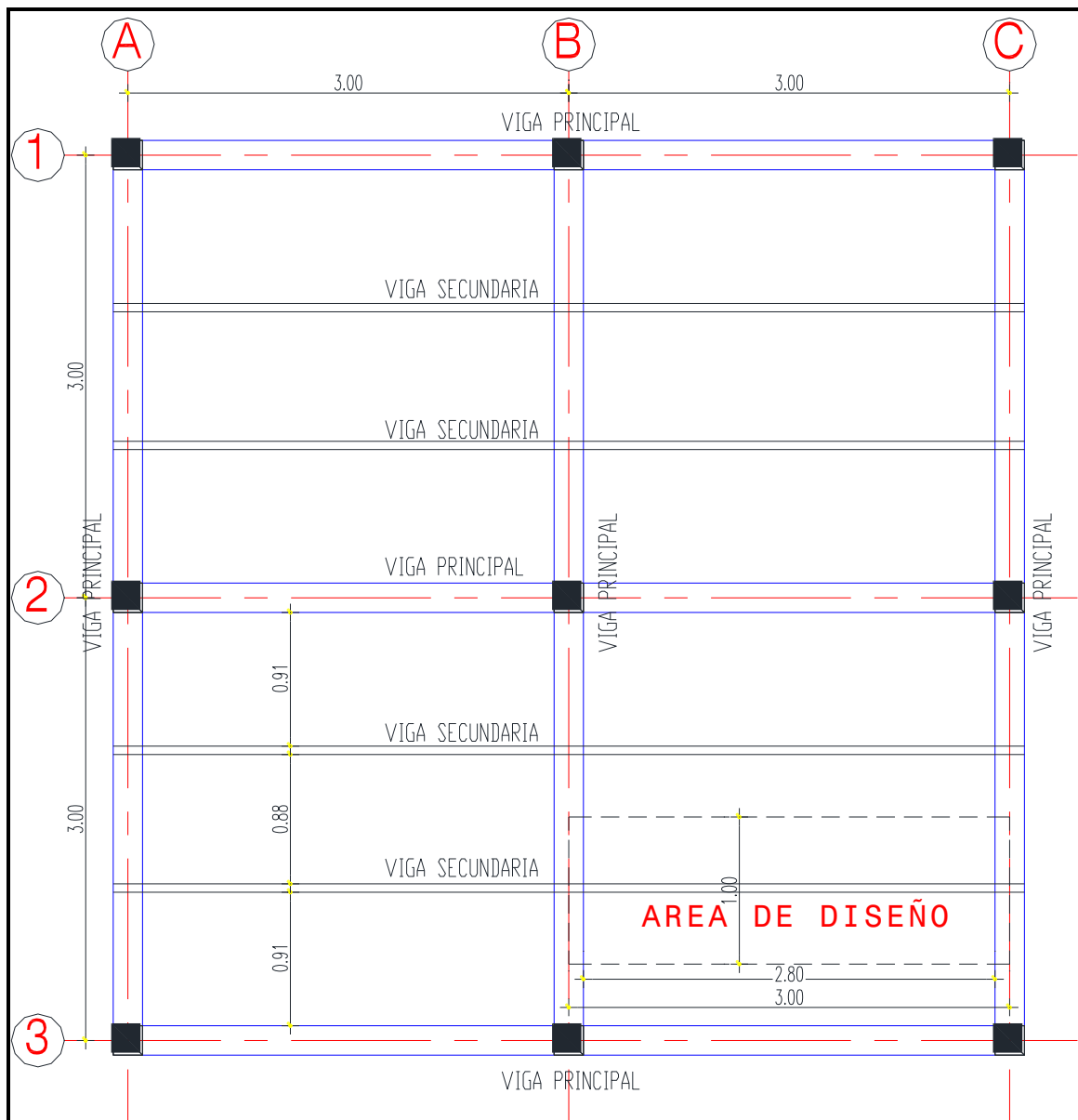


FIGURA 2.2. CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

En este presente diseño se deben considerar los siguientes parámetros:

- Hipótesis de Carga
- Determinación de la deflexión de la lámina de Acero-Deck, actuando como encofrado
- Esfuerzo de tensión por flexión en el sistema no compuesto
- Cálculo de esfuerzos admisibles en el sistema compuesto
- Condición de momento último o resistencia a la flexión

- Diseño por cortante:
 - Verificación por cortante
- Esfuerzos admisibles a compresión en el concreto
- Deflexión del sistema compuesto

2.2.1 HIPÓTESIS DE CARGA

Se ha calculado el peso hipotético por carga muerta sobre la losa deck. La hipótesis se basa en sacar el peso que tendrían las paredes en el caso de que esta estructura soportará un pequeño departamento de un baño, una habitación y una cocina dentro del espacio que se tiene disponible sobre la losa.

- Peso del Panel metálico= 6.37kg/m^2
- Peso del Panel en el área de diseño = $6.37\text{kg/m}^2 \times 3\text{m}^2 = 19.11\text{kg}$
- El volumen del hormigón en promedio para la Kubilosa calibre 65 de 5cm de hormigón por sobre la cresta Acons sd= $0.06950\text{m}^3/\text{m}^2$
- Peso por metro cuadrado de hormigón Wcon sd = $0.06950\text{m}^3/\text{m}^2 \times 2400\text{kg/m}^3 = 166.8 \text{ kg/m}^2$
- El número de bloques de 20x20x40 incluido enlucido= $1\text{m}^2 / (0.21 \times 0.41) = 11.6\text{u.}$
- Peso de un bloque de 20x20x40=12kg
- Peso del enlucido y mortero para los bloques= $(0.21 \times 0.41 \times 0.015 \times 2 + 0.11 \times 0.21 \times 0.015 \times 2 + 0.21 \times 0.41 \times 2 \times 0.02)\text{m}^3 \times 2200\text{kg/m}^3 = 14.8\text{kg}$
- Peso en conjunto (bloque + enlucido + mortero) en 1m² de mampostería= $(12+14.8) \text{ kg} \times 11.6\text{u.} = 310.9\text{kg}$
- Tomando en cuenta un entrepiso de 2.6m el área de paredes en el vano más cargado es= $3.96\text{m} \times 2.6\text{m} = 10.3\text{m}^2$
- Peso de mampostería en vano más desfavorable= $10.3\text{m}^2 \times 310.9\text{kg/m}^2 = 3202\text{kg}$
- Área del vano analizado= 9m^2

- Peso mampostería por metro cuadrado distribuido en losa= $3202\text{kg}/9\text{m}^2 = 356\text{ kg}/\text{m}^2$
- Peso acabados piso y cielo falso= $30\text{kg}/\text{m}^2$
- Carga muerta W_d $sd = (6.37 + 166.8 + 356 + 30)\text{kg}/\text{m}^2 = 559.17\text{kg}/\text{m}^2 \approx 560\text{kg}/\text{m}^2$
- Carga viva= $200\text{kg}/\text{m}^2$
- Espesor de la lamina de Acero $e = 0.065\text{cm}$
- Longitud de la plancha por cada ancho total $l_{tsd} = 136\text{cm}$
- Área de acero de la lamina Deck A_s $sd = 8.84\text{cm}^2$
- Inercia $I_{sd} = 29.30\text{cm}^4$
- Módulo de sección superior S_p $sd = 9.61\text{cm}^3$
- Módulo de sección inferior S_n $sd = 14.54\text{cm}^3$
- Peso por unidad de longitud W_s $sd = 6.37\text{kg}/\text{m}^2$
- Módulo de elasticidad del acero= $2000000\text{ kg}/\text{cm}^2$
- Espesor de la losa asumido $t = 10.1\text{cm}$

2.2.2 DETERMINACIÓN DE LA FLEXIÓN DE LA LÁMINA DE ACERO DECK ACTUANDO COMO ENCOFRADO

Se considera que la deformación admisible en el estado no compuesto es decir cuando aún la lámina de acero actúa únicamente como encofrado, se debe el menor entre:

$$\delta_{adm} = \frac{L_{sd} * 100}{180} \text{ ó } 1.9\text{ cm} \quad (2.1)$$

$$\delta_{adm} = \frac{0.90 * 100}{180} = 0.5\text{ cm}$$

δ_{adm} : Deformación de la luz admisible (m)

L_{sd} : Luz libre de la losa (m)

Tenemos que tomar en cuenta que al igual que sucede con el método de coeficientes, las deformaciones dependen de las condiciones de apoyo, para nuestro caso deberemos tomar la condición de apoyo en tres tramos.

Formula para tres tramos en un ancho de análisis de $b=100\text{cm}$

$$\delta_{calc} = \frac{0.0069 * Wd_{sd} * (L_{sd} * 100)^4}{E_s * I_{sd} * b}, \text{ cm} \quad (2.2)$$

$$\delta_{calc} = \frac{0.0069 * 559.17 * (0.90 * 100)^4}{2000000 * 29.30 * 100} = 0.0432 \text{ cm}$$

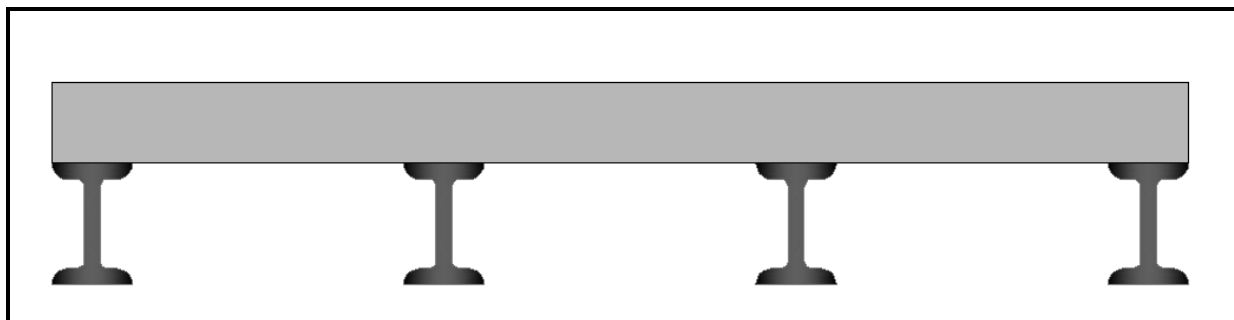


FIGURA 2.3. CONDICIÓN DE APOYO EN TRES TRAMOS
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Wd_{sd} : Carga muerta por unidad de longitud (kg/m)

E_s : Modulo de elasticidad del acero (kg/cm^2)

I_{sd} : Inercia (cm^4/m)

b: Ancho de análisis

Con esto cumplimos que:

$$\delta_{calc} \leq \delta_{adm}$$

2.2.3 DETERMINACIÓN DE TENSIÓN POR FLEXIÓN EN EL SISTEMA NO COMPUESTO

La lámina de Acero-Deck debe resistir los esfuerzos generados en su sección por el vaciado del concreto, y de esta manera se han generado esfuerzos de compresión y tracción por las cargas permanentes (peso propio de la lámina y peso concreto fresco) e impermanentes de montaje. Estos esfuerzos no

pueden exceder el 60% del esfuerzo de fluencia de la lámina 2530 kgf/cm².
Los momentos que se generan son los siguientes:

Se escoge el mayor valor de los siguientes:

$$M_{sd}^+ = 0.20 * P_{sd} * L_{sd} + 0.094 * Wd_{sd} * L_{sd}^2$$

$$M_{sd}^+ = 0.20 * 75 * 0.90 + 0.094 * 559.17 * 0.90^2 = 56.08 \text{ kg} - m$$

$$M_{sd}^+ = 0.096 * (Wd_{sd} + W_{wsd}) * L_{sd}^2$$

$$M_{sd}^+ = 0.096 * (559.17 + 100) * 0.90^2 = 51.26 \text{ kg} - m$$

$$M_{sd}^- = 0.117 * (Wd_{sd} + W_{wsd}) * L_{sd}^2$$

$$M_{sd}^- = 0.117 * (559.17 + 100) * 0.90^2 = 62.47 \text{ kg} - m$$

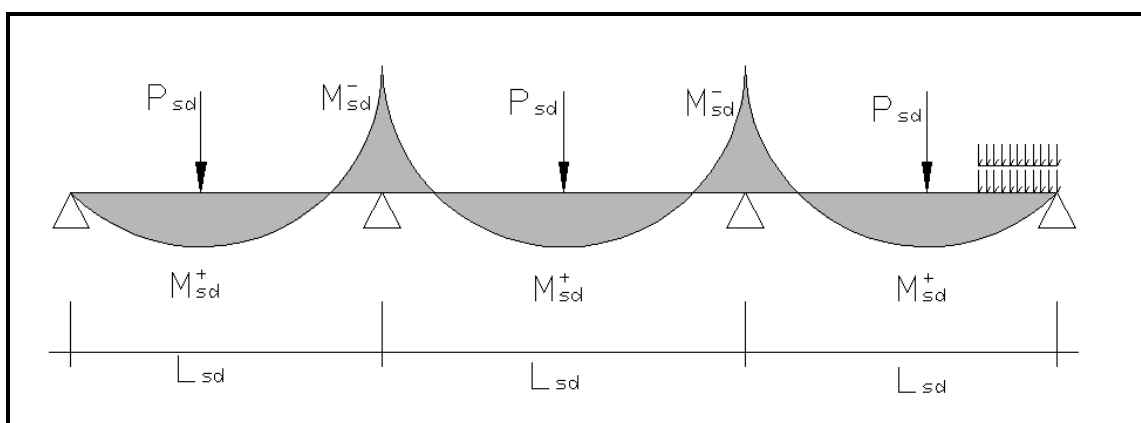


FIGURA 2.4. FLEXIÓN DE VIGA EN TRES TRAMOS

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Luego, hacemos una equivalencia entre la razón del momento y el módulo de sección.

$$f^+ = \frac{M_{sd}^+}{Sp_{sd}} * 100 ; \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \quad \text{y} \quad f^- = \frac{M_{sd}^-}{Sp_{nd}} * 100 ; \left(\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$f^+ = \frac{56.08}{9.61} * 100 = 583.51 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \quad f^- = \frac{62.47}{9.61} * 100 = 429.64 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

¹ SENCICO. (s.f.). MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. Lima, Perú.

Aquí debemos verificar que:

- $f^+ \leq 0.6 * f_y$

$$583.51 \leq 0.6 * 4200$$

- $f^- \leq 0.6 * f_y$

$$429.64 \leq 0.6 * 4200$$

M_{sd}^+ : Momento positivo en la lámina (kgf-m)

M_{sd}^- : Momento negativo en la lámina no compuesta (kgf-m)

P_{sd} : Carga puntual en el centro de la luz (75 kgf)

L_{sd} : Luz libre de la losa (m)

f^- : Esfuerzo negativo en la lámina (kgf/cm²)

f^+ : Esfuerzo positivo en la lámina (kgf/cm²)

W_{wsd} : Carga distribuida (100 kgf)

Sp_{sd} : Módulo de sección superior (cm³/m)

Sn_{sd} : Módulo de sección inferior (cm³/m) d

f_y : Resistencia a la fluencia del acero (kgf/cm²)

2.2.4 CÁLCULO DE ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL SISTEMA COMPUESTO

Determinación del momento de inercia de la sección transformada fisurada:

$$I_c = \frac{b * Y_{cc1}^3}{3} + n * A_{s_{sd}} * Y_{cs}^2 + n * I_{sd} \quad (2.3)$$

Siendo:

$$Y_{cg} = \frac{hr}{3} \left(\frac{B + 2A}{B + A} \right)$$

$$d = t - Y_{cg}$$

$$Y_{cg} = \frac{5.1}{3} \left(\frac{19 + 2 * 12}{19 + 12} \right) = 2.36 \text{ cm}$$

$$d = 10 - 2.36 = 7.64 \text{ cm}$$

Donde A y B son medidas del trapecio formado por el deck como lo muestra la Figura 2.5

$$\rho = \frac{As_{sd}}{b * d} \quad (2.4)$$

$$\rho = \frac{8.84}{100 * 7.64}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.5)$$

$$n = \frac{2000000}{15000 * \sqrt{210}} = 9.2 \approx 9$$

$$Y_{cc1} = d * \sqrt{2 * \rho * n + (\rho * n)^2} - \rho * n$$

$$Y_{cc1} = 7.64 * \sqrt{2 * 0.01157 * 9 + (0.01157 * 9)^2} - 0.01157 * 9 = 2.78 \text{ cm}$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc1}$$

$$Y_{cs} = 7.64 - 2.78 = 4.86 \text{ cm}$$

$$I_c = \frac{100 * 2.78^3}{3} + 9 * 8.84 * 4.86^2 + 9 * 29.30 = 2860.54 \text{ cm}^4$$

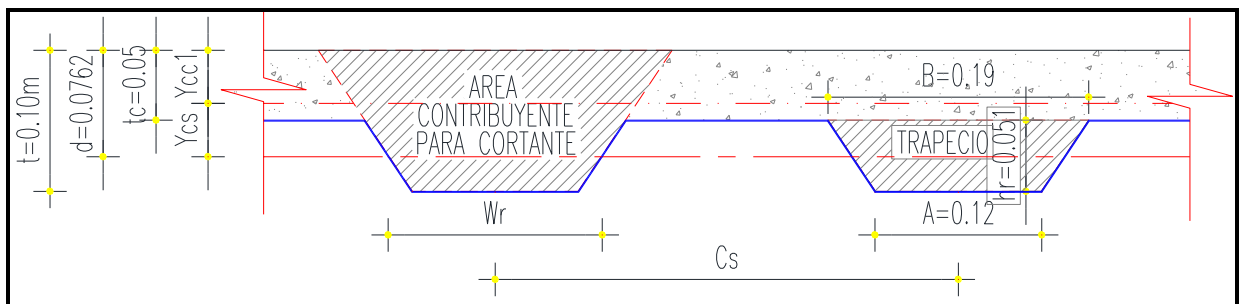


FIGURA 2.5. DIMENSIONES PARA DISEÑO.

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Si $Y_{cc1} \geq t_{c1}$, entonces se usará $Y_{cc1} = t_{c1}$

Luego el momento de inercia de la sección transformada no fisurada será igual

a:

$$I_u = \frac{b * t_c^3}{12} + b + t_c * (Y_{cc2} - 0.5 * t_c)^2 + n * I_{sd} + n * As_{sd} * Y_{cs}^2 + \frac{b}{c_s} \left\{ w_r * h_r \left[\frac{h_r^2}{12} + (t - Y_{cc2} - 0.5 * h_r)^2 \right] \right\}$$

$$Y_{cc2} = \frac{0.5 * b * t^2 + n * As_{sd} * d - (C_s - w_r) * b * h_r / C_s * (t - 0.5 * h_r)}{b * t + n * As_{sd} - \frac{b}{C_s} * h_r * (C_s - w_r)}$$

$$Y_{cc2} = \frac{0.5 * 100 * 10^2 + 9 * 8.84 * 7.64 - (33 - 15) * 100 * 5.1 / 33 \times (10 - 0.5 * 5.1)}{100 * 10 + 9 * 8.84 - 100 / 33 * 5.1 \times (33 - 15)} = 4.41 \text{ cm}$$

$$Y_{cs} = d - Y_{cc2}$$

$$Y_{cs} = 7.62 - 4.41 = 3.23 \text{ cm}$$

$$I_u = \frac{100 * 5^3}{12} + 100 * 5 * (4.41 - 0.5 * 5)^2 + 9 * 29.3 + 9 * 8.84 * 4.86^2 + \frac{100}{33} \left\{ 15 * 5.1 \left[\frac{5.1^2}{12} + (10 - 4.41 - 0.5 * 5.1)^2 \right] \right\}$$

$$I_u = 6605.27 \text{ cm}^4$$

C_s : Espacio entre ejes de valles contiguos (cm.)

w_r : Ancho medio del valle del Deck utilizado (cm.)

Luego, el momento de Inercia Efectivo será:

$$I_e = \frac{I_u + I_c}{2} \quad (2.6)$$

$$I_e = \frac{6605.27 + 2860.54}{2} = 4732.90$$

Determinamos el Y_{prom} , como:

$$Y_{prom} = \frac{Y_{cc1} + Y_{cc2}}{2} \quad (2.7)$$

$$Y_{prom} = \frac{2.78 + 4.41}{2} = 3.60 \text{ cm}$$

Calculamos ahora el módulo de sección inferior del sistema compuesto

S_{ic} (cm)³ como:

$$S_{ic} = \frac{I_e}{t - Y_{prom}} \quad (2.8)$$

$$S_{ic} = \frac{4732.90}{10 - 3.60} = 739.11 \text{ cm}^3$$

Para verificar los esfuerzos producidos en la lámina de acero, calculamos momentos positivos producidos por la carga muerta y viva sin mayorar en condición de apoyo simple y lo comparamos con el esfuerzo de fluencia de la lámina de acero a un 60% de su capacidad.

Entonces, verificamos que:

$$\frac{Md_{sd} + MI_{sd}}{S_{ic}} \times 100 \leq 0.6 \times f_y$$

Donde:

Md_{sd} : Momento producido en la losa por las cargas muertas (kgf-m)

$$Md_{sd} = \frac{\psi \times Wd_{sd} \times L_{sd}^2}{8} \quad (2.9)$$

$$Md_{sd} = \frac{0.63 * 559.17 * 0.90^2}{8} = 35.67 \text{ kg} - m$$

MI_{sd} : Momento producido en la losa por las cargas vivas (kgf-m)

$$MI_{sd} = \frac{Wl_{sd} \times L_{sd}^2}{8} \quad (2.10)$$

$$MI_{sd} = \frac{200 * 0.90^2}{8} = 20.25 \text{ kg} - m$$

Wl_{sd} : Carga sobre impuesta (kgf/m)

ψ : Factor de reducción de carga según apuntalamiento

1.00	:	Apuntalamiento es total
0.73	:	Apuntalamiento temporal en los tercios de la luz durante el vaciado
0.63	:	Apuntalamiento temporal el centro de la luz durante el vaciado
0.00	:	No existe apuntalamiento

Entonces podemos verificar que:

$$\frac{Md_{sd} + MI_{sd}}{S_{ic}} \times 100 \leq 0.6 x f_y$$

$$\frac{35.67 + 20.25}{739.11} \times 100 \leq 0.6 * 4200$$

$$7.57 \leq 2520.00$$

2.2.5 CONDICIÓN DE MOMENTO ÚLTIMO O RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tomaremos en cuenta que existen dos condiciones para la determinación del momento último, la primera será cuando trabajamos con una losa sub-reforzada en la cuál la capacidad de la lámina de acero a tomar dicho momento será la condición crítica; la segunda condición será cuando estemos ante una losa sobre-reforzada, en la cual el acero de la lámina es excesivo y el momento estará sujeto a la capacidad del concreto a tomar el momento. Así, para poder definir ante que condición nos encontramos, deberemos verificar si la cuantía del sistema es menor o mayor que la cuantía balanceada.

La cuantía balanceada se definirá suponiendo que la superficie superior de la lámina de acero alcanza su límite de fluencia en el mismo instante que la fibra superior del concreto llega a su límite de deformación en compresión:

Así tenemos que

$$\rho_b = \frac{0.85 x \beta_1 x f_c'}{F_y} x \frac{0.003 x (t - h_r)}{\left(0.003 + \frac{F_y}{E_s}\right) x d} \quad (2.11)$$

$$\rho_b = \frac{0.85 * 0.85 * 210'}{4200} x \frac{0.003 * (10 - 5.1)}{\left(0.003 + \frac{4200}{2000000}\right) * 7.64} = 0.01363$$

Donde:

$$\beta_1 = 0.85$$

Si f'_c menores a 280 kgf/cm² se reduce en 5% cada incremento de resistencia a compresión del concreto de 70 kgf/cm² ($\beta_1 = 0.65$) mínimo.

Se reconocerá como losas sub-reforzadas a aquellas que presenten una cuantía " ρ " menor que la cuantía balanceada; entonces la capacidad del momento nominal se identificará como:

Si: $\rho \leq \rho_b$

$$0.01157 \leq 0.01363$$

$$M_n = A s_{sd} * f_y * \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.12)$$

Dónde:

$A s_{sd}$: Área de acero neta de la lámina por unidad de ancho.

$$a = \frac{A s_{sd} * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

$$a = \frac{8.84 * 4200}{0.85 * 210 * 100} = 2.1 \text{ cm}$$

Entonces:

$$M_n = 8.84 * 4200 * \left(7.64 - \frac{2.1}{2} \right) = 245.117 \text{ kg} - \text{cm} = 2451 \text{ kg} - \text{m}$$

Profundidad del bloque rectangular en compresión equivalente de ancho b.

El momento de diseño será igual a $\phi \times M_n$, donde ϕ es el coeficiente de reducción del momento o flexión para falla de flexión sub-reforzada $\phi = 0.90$.

$$M_d = \Phi \times M_n \quad (2.12)$$

$$M_d = 0.90 * 245.117 = 220.605 \text{ kg} - \text{cm} = 2.206 \text{ kg} - \text{m}$$

2.2.6 DISEÑO POR CORTANTE

Para el diseño por cortante existen dos tipos de corte:

1. Efectos generados en los apoyos de las vigas; y,
2. Resistencia de adherencia al cortante.

La resistencia a cortante es tomado netamente por la losa de hormigón, por tanto se considera lo siguiente:

$$V_n = 0.53 x \sqrt{f_c'} x A_c \quad (2.13)$$

Se conoce que el área contribuyente a cortante A_c en el ancho de análisis es 616.02cm^2 . Figura 2.6.

$$V_n = 0.53 x \sqrt{210} * 616.02 = 4731.3\text{kg}$$

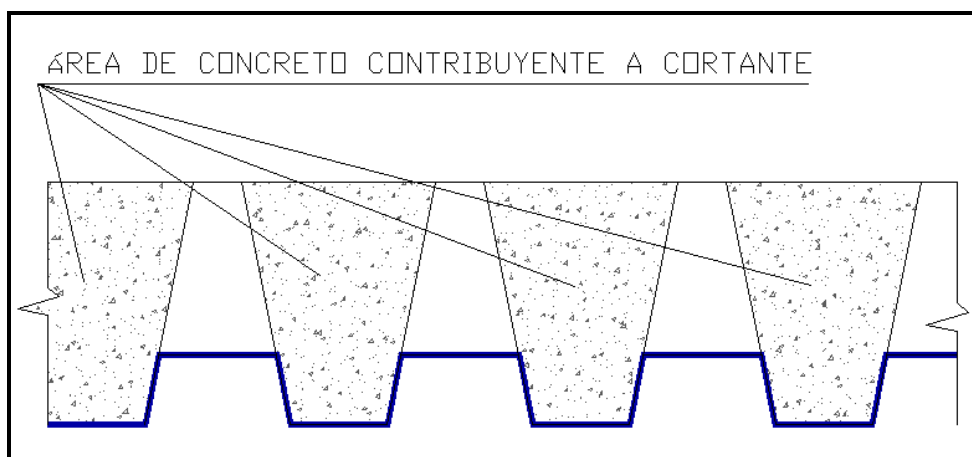


FIGURA 2.6. AREA DE CONCRETO CONTRIBUYENTE.

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

El cortante último se considera cerca a los apoyos será igual a:

$$V_u = \frac{\psi x W d_{sd} x L_{sd}}{2} + \frac{W l_{sd} x L_{sd}}{2} \quad (2.14)$$

$$V_u = \frac{0.63 * 559.17 * 0.90}{2} + \frac{200 * 0.90}{2} = 248.52\text{ kg}$$

El cortante último debe cumplir que:

$$V_u \leq \phi x V_n$$

$$248.52 \leq 4021.60$$

ϕ : 0.85 Coeficiente de reducción por corte

2.2.7 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESIÓN EN EL CONCRETO

Los esfuerzos cortantes dados por transmisión de esfuerzos de compresión o tracción,

$$\frac{Md_{sd} + Ml_{sd}}{S_{cc} \cdot xn} \cdot x100 \leq S_{adm} = 0.45 \cdot x f'_c$$

Donde:

$S_{cc} = \frac{I_{prom}}{Y_{prom}}$: Modulo elástico de sección superior para la sección compuesta

$$S_{cc} = \frac{4732.90}{3.60} = 1315.99 \text{ cm}^3$$

$n = E_s / E_c$: Ratio de módulos de Young del acero y del concreto

$$\frac{35.67 + 20.25}{1315.99 \cdot 9} \cdot x100 \leq S_{adm} = 0.45 \cdot 210$$

$$0.47 \leq 94.5$$

2.2.8 DEFLEXIÓN DEL SISTEMA COMPUESTO

En un elemento tipo losa o tipo viga, existirán dos tipos de deformaciones:

1. Deformación elástica debido a carga
2. Deformación por flujo plástico o deformación diferida, sucede debido a las cargas y al tiempo

Las deformaciones debido a las cargas se podrán calcular de la siguiente forma:

- Deflexiones inmediatas debido a las cargas propias, dependiendo si están apuntaladas o no, más las cargas vivas:

$$\Delta_{st}' = \frac{5}{384} x \frac{(Wd_{sd} + Wl_{sd}) x L_{sd}^4}{E_c x I_e} x 10^6 \quad (2.15)$$

$$\Delta_{st}' = \frac{5}{384} x \frac{(559.17 + 200) * 0.90^4}{15000 * \sqrt{210} * 4732.90} * 10^6 = 217.371 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 15000 \times \sqrt{f'_c} : \text{Modulo de Young del concreto (kgf/cm}^2\text{)}$$

- Para deformaciones diferidas o deformaciones a largo plazo.

$$\Delta_{LT} = \Delta_{st}' x \left[2 - 1.2 x \frac{A_s'}{A_{s_{sd}}} \right] \quad (2.16)$$

Donde:

$A_s' = A_{temp} + A_{comp}$: Acero de flexión negativa en los apoyos (Acomp) + Acero de temperatura (Atemp)

$$A_{temp} = 0.002 \text{ } x b x h$$

Este es el acero de temperatura requerido según el código, en un ancho b sería un metro y el h el espesor del hormigón sobre la cresta que es el valor de t_c .

$$A_{temp} = 0.002 * 100 * 5 = 1 \text{ cm}^2$$

En nuestro caso optamos por una malla electrosoldada de Φ 4mm a cada 10cm entonces nuestro acero de temperatura sería en realidad.

$$A_{temp} = \frac{11 * \pi * 0.4^2}{4} = 1.38 \text{ cm}^2$$

Para nuestra losa no se utilizó el refuerzo de flexión negativa ya que el esfuerzo no lo llega a requerir y se lo comprueba más adelante con las deflexiones.

Con todo esto ya podemos obtener la deformación diferida que es la siguiente.

$$\Delta_{LT} = 217.371 * \left[2 - 1.2 * \frac{1.38}{8.84} \right] = 0.01 \text{ cm}$$

La deformación total es:

$$\Delta_{total} = \Delta_{LT} + \Delta_{st}$$

$$\Delta_{total} = 0.01 + 0.01 = 0.02 \text{ cm}$$

Mientras la deformación admisible es la que sigue:

$$\Delta_{adm} = \frac{L_{sd}}{360} \times 100$$

$$\Delta_{adm} = \frac{0.90}{360} \times 100 = 0.25 \text{ cm}$$

De aquí vemos que se cumple que nuestra deformación total es menor a la admisible

$$\Delta_{total} \leq \Delta_{adm}$$

2.3. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DEL PROTOTIPO

Si separamos el área de diseño del resto de la estructura tenemos el prototipo a ensayarse. El ensayo al ser una sección compuesta apoyada a los extremos se lo puede comenzar analizando como tal. La Figura 2.7 es una sintetización gráfica del modelo matemático al que queremos llegar. La figura indica el tipo de apoyo que planteamos que es el que tiene el laboratorio. Un apoyo simple o viga simplemente apoyada es la que se propone, ya que la característica principal de este apoyo es impedir el desplazamiento vertical sin reprimir su rotación. En el laboratorio se aseguró la rotación en por lo menos uno de los apoyos, colocando latas engrasadas justo por debajo de los puntos de apoyo. El permitir que la viga rotara en su base deja que esta a su vez vaya adquiriendo la curva de la deformada que le corresponde.

2.3.1 DIAGRAMAS DE CORTE, MOMENTO Y DEFLEXIONES

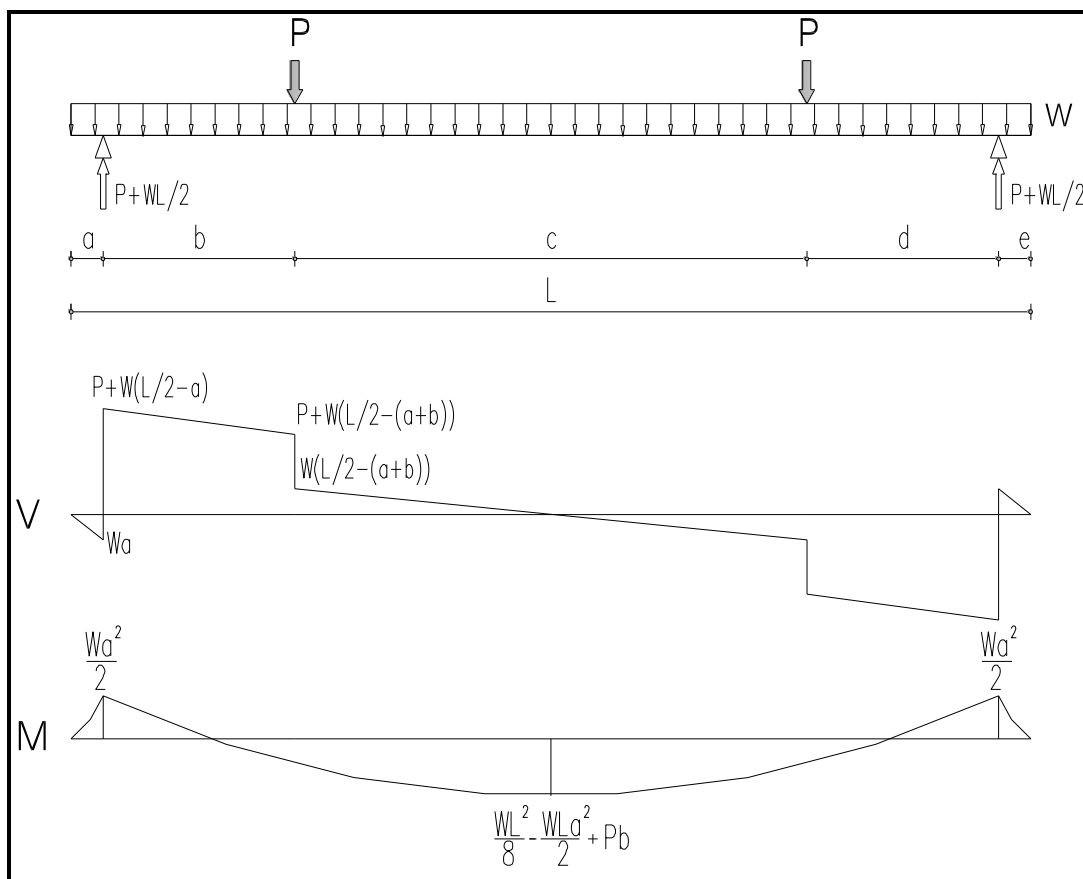


FIGURA 2.7. DIAGRAMAS DE CORTE Y MOMENTO DE LA SECCIÓN COMPUESTA.

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Acorde a estos diagramas las ecuaciones de momento en los diferentes tramos son como siguen:

$$0 < x < a$$

$$M = -\frac{Wx^2}{2}$$

$$a < x < a + b$$

$$M = -\frac{Wx^2}{2} + \left(P + \frac{WL}{2} \right) (x - a)$$

$$a + b < x < a + b + c$$

$$M = -\frac{Wx^2}{2} + \left(P + \frac{WL}{2}\right)(x - a) - P(x - (a - b))$$

$$a + b + c < x < a + b + c + d$$

$$M = -\frac{Wx^2}{2} + \left(P + \frac{WL}{2}\right)(x - a) - P(x - (a + b)) + P(x - (a + b + c))$$

$$a + b + c + d < x < L$$

$$M = -\frac{Wx^2}{2} + \left(P + \frac{WL}{2}\right)(x - a) - P(x - (a + b)) + P(x - (a + b + c)) + \left(P + \frac{WL}{2}\right)(x - (a + b + c + d))$$

Para las ecuaciones de cortante tenemos:

$$0 < x < a$$

$$V = -Wx$$

$$a < x < a + b$$

$$V = -Wx + \left(P + \frac{WL}{2}\right)$$

$$a + b < x < a + b + c$$

$$V = -Wx + \left(P + \frac{WL}{2}\right) - P$$

$$V = -W\left(x - \frac{L}{2}\right)$$

$$a + b + c < x < a + b + c + d$$

$$V = -Wx + \left(P + \frac{WL}{2}\right) - P - P$$

$$V = -W\left(x + \frac{L}{2}\right) - P$$

$$a + b + c + d < x < L$$

$$V = -Wx + \left(P + \frac{WL}{2}\right) - 2P + \left(P + \frac{WL}{2}\right)$$

$$V = -Wx + 2P + WL - 2P$$

$$V = -W(x - L)$$

Para las ecuaciones de la deformación se utilizó el método de la Ecuación Universal de la Línea Elástica.

$$y = \frac{1}{EI} \left[\begin{array}{l} y_o + \theta_o a + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{\langle (x-a) \rangle^3}{6} - P \frac{\langle (x-(a+b)) \rangle^3}{6} - P \frac{\langle (x-(a+b+c)) \rangle^3}{6} \\ - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{\langle (x-(a+b+c+d)) \rangle^3}{6} - \frac{Wx^2}{24} \end{array} \right]$$

Donde:

Si $x = a \quad y = 0$

y si $x = a + b + c + d \quad y = 0$ que son las condiciones de borde del sistema.

Entonces:

$$0 = y_o + \theta_o (a + b + c + d) + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{(b + c + d)^3}{6} - P \frac{(c + d)^3}{6} - \frac{Pd^3}{6} - W \frac{(a + b + c + d)^4}{24}$$

$$0 = \frac{Wa^4}{24} - \theta_o a + \theta_o a + \theta_o b + \theta_o c + \theta_o d + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{(b + c + d)^3}{6} - P \frac{(c + d)^3}{6} - P \frac{d^3}{6} - W \frac{(a + b + c + d)^4}{24}$$

$$0 = \theta_o (b + c + d) + \frac{Wa^3}{24} + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{(b + c + d)^3}{6} - P \frac{(c + d)^3}{6} - \frac{Pd^3}{6} - W \frac{(a + b + c + d)^4}{24}$$

$$\theta_o = \frac{1}{2(b + c + d)} \left[P \frac{(c + d)^3}{3} + \frac{Pd^3}{3} + W \frac{(a + b + c + d)^4}{12} - \frac{Wa^4}{24} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \right]$$

$$y_o = \frac{Wa^4}{24} - \frac{a}{2(b + c + d)} \left[P \frac{(c + d)^3}{3} + \frac{Pd^3}{3} + W \frac{(a + b + c + d)^4}{12} - \frac{Wa^4}{24} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \right]$$

Por lo tanto la Ecuación de la Deformada es:

$$y = \frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{Wa^4}{24} - \frac{a}{2(b+c+d)} \left[P \frac{(c+d)^3}{3} + \frac{Pd^3}{3} + W \frac{(a+b+c+d)^4}{12} - \frac{Wa^4}{24} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \right] \right. \\ & + \frac{x}{2(b+c+d)} \left[P \frac{(c+d)^3}{3} + \frac{Pd^3}{3} + W \frac{(a+b+c+d)^4}{12} - \frac{Wa^4}{24} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \right] \\ & + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{(x-a)^3}{6} - P \frac{(x-(a+b))^3}{6} - P \frac{(x-(a+b+c))^3}{6} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{(x-(a+b+c+d))^3}{6} \\ & \left. - \frac{Wx^4}{24} \right\} \quad (2.17) \end{aligned} \right.$$

También para nuestros cálculos debemos tener bien en claro donde y de que magnitud son los momentos máximos al igual que los cortantes y la deformada máxima.

Momento Máximo en L/2 y reemplazando tenemos:

$$M_{\max} = -\frac{WL^2}{8} + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \left(\frac{L}{2} - a \right) - P \left(\frac{L}{2} - (a+b) \right)$$

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} + \frac{PL}{2} - Pa + \frac{WL^2}{4} - \frac{WLa}{2} - \frac{PL}{2} + Pa + Pb$$

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} - \frac{WLa}{2} + Pb \quad (2.18)$$

Cortante Máximo en x=a

$$V_{\max} = -Wa + P + \frac{WL}{2} \quad (2.19)$$

Deformación Máxima en x=L/2

$$y = \frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{Wa^4}{24} - \left[P \frac{(c+d)^3}{3} + \frac{Pd^3}{3} + W \frac{(a+b+c+d)^4}{12} - \frac{Wa^4}{24} - \left(P + \frac{WL}{2} \right) \right] \left(\frac{a}{2(b+c+d)} - \frac{L}{4(b+c+d)} \right) \right. \\ & \left. + \left(P + \frac{WL}{2} \right) \frac{\left(\frac{L}{2} - a \right)^3}{6} - P \frac{\left(\frac{L}{2} - (a+b) \right)^3}{6} - \frac{WL^4}{384} \right\} \end{aligned} \right.$$

Datos:

$$P = 1.00 \text{ Ton}$$

$$a = e = 0.10 \text{ m}$$

$$b = d = 0.60 \text{ m}$$

$$c = 1.60 \text{ m}$$

$$W = 0.180 \text{ T/m}$$

$$L = 3.00 \text{ m}$$

$$E_1 = E_c = 2274860 \text{ T/m}^2$$

$$E_2 = E_D = 21000000 \text{ T/m}^2$$

$$E_3 = E_s = 2043000 \text{ T/m}^2$$

Evaluamos el momento de cada una de las áreas de la sección respecto de un eje neutro, el mismo que asumimos se encuentra en el hormigón.

$$\int_1 y dA = (h_1 * Au) \frac{h_1}{2} - \frac{(ec - h_1)^2}{2} * Au$$

$$\int_1 y dA = (h_1 * 1) \frac{h_1}{2} - \frac{(0.05 - h_1)^2}{2} * 1$$

$$\int_1 y dA = 0.5h_1^2 - 0.5(0.0025 - 0.1h_1 + h_1^2)$$

$$\int_1 y dA = 0.05 h_1 - 0.00125$$

$$\int_2 y dA = -(ed * 1) \left(e - h_1 + \frac{ed}{2} \right)$$

$$\int_2 y dA = -(0.00065 * 1) \left(0.1 - h_1 + \frac{0.00065}{2} \right)$$

$$\int_2 y dA = 0.00065 h_1 - 0.000065$$

$$\int_3 y dA = -(tf * bf) \left(e + ed + \frac{tf}{2} - h_1 \right) - (ea * tw) \left(e + ed + tf + \frac{ea}{2} - h_1 \right) - (tf * bf) \left(e + ed + tf + ea + \frac{tf}{2} - h_1 \right)$$

$$\int_3 y dA = -(0.006 * 0.0565)(0.10365 - h_1) - (0.088 * 0.0045)(0.15065 - h_1) - (0.006 * 0.0565)(0.19765 - h_1)$$

$$\int_3 y dA = 0.001074 h_1 - 0.0001617981$$

Cada integral se ve afectada por el módulo de elasticidad del material al que pertenece de tal manera la fuerza axial resultante que actúa en la sección transversal es igual a cero.

$$E_1 * Ecuación 1 + E_2 * Ecuación 2 + E_3 * Ecuación 3 = 0$$

$$\begin{bmatrix} 2274860 * (0.05 h_1 - 0.00125) \\ 21000000 (0.00065 h_1 - 0.000065) \\ 20430000 (0.001074 h_1 - 0.0001617981) \end{bmatrix} = 0$$

$$h_1 = 0.0503172 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.1503328 \text{ m}$$

Una vez obtenido el eje neutro de la sección compuesta necesitamos sacar por separado para cada material la inercia. Para sacar los momentos de inercia nos ayudamos con el teorema de los ejes paralelos.

Primero para el hormigón sería:

$$I = \frac{b * h^3}{12} + Ay^2 \quad (2.20)$$

$$I_1 = \frac{1 * 0.05^3}{12} + (1 * 0.05) \left(h_1 - \frac{0.05}{2} \right)^2$$

$$I_1 = 0.00004246 \text{ m}^4$$

Para el Deck es:

$$I_2 = \frac{1 * 0.00065^3}{12} + (1 * 0.00065) \left(0.1 + \frac{0.00065}{2} \right)^2$$

$$I_2 = 0.00000182 \text{ m}^4$$

Para la viga I nos ayudamos utilizando la Figura 2.8, separando la sección en 3.

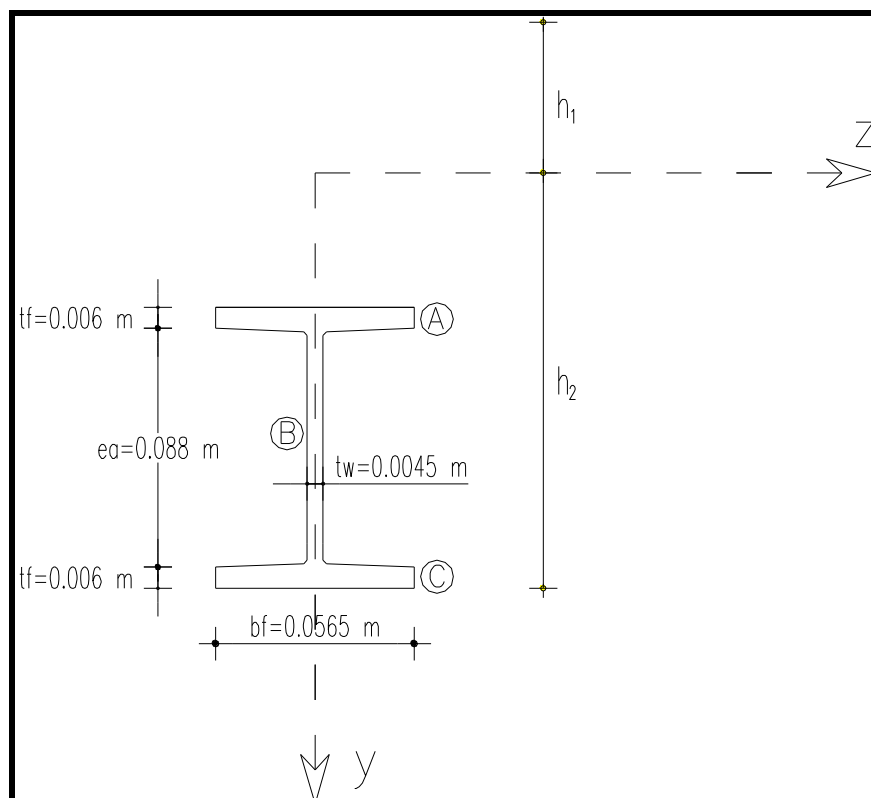


FIGURA 2.9. DETALLE DE LA SECCIÓN I RESPECTO AL EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN COMPUESTA

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

CUADRO 2.1. INERCIA DE LA VIGA I RESPECTO AL EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN COMPUESTA

SEC	ÁREA	x	y	Ix	Ay	Ay ²
A	0.000339	0	0.0533328	0.00000000102	0.00001694322	0.00000084682
B	0.000396	0	0.1003328	0.00000025555	0.00003840408	0.00000372443
C	0.000339	0	0.1473328	0.00000000102	0.00004880922	0.00000702755
				0.000000026		0.00001160

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$I_3 = \sum I_x + \sum A_i y_i^2$$

$$I_3 = 2.5758 \cdot 10^{-7} + 1.159872 \cdot 10^{-5}$$

$$I_3 = 0.0000125668 \text{ } 9 \text{ m}^4$$

2.3.2.2 OBTENCIÓN DE ESFUERZOS DENTRO DE LA SECCIÓN

Para obtener los esfuerzos dentro de la sección debemos tener bien en claro las formulas de esfuerzo flector y esfuerzo cortante ya que con estas averiguamos el elemento que llega a fallar más rápido.

El esfuerzo por flexión para una sección con diferentes materiales es el siguiente:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y \cdot E_1}{E_c I_1 + E_D I_2 + E_s I_3} \quad (2.21)$$

Donde.

M: Es el momento sacado del diagrama de momentos de la viga (ton-m).

y: Es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra que se quiere examinar (m).

E1: Es el módulo de elasticidad del material que se está examinando que es correspondiente a la distancia y, este puede ser entonces E₁, E₂ o E₃ (ton/m²).

$E_c I_1 + E_D I_2 + E_s I_3$: Es la sumatoria de rigidez de cada material, cada uno multiplicando su módulo de elasticidad con su respectiva Inercia.

Para el esfuerzo cortante de la sección en cambio la formula es la que sigue:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad (2.22)$$

Donde.

V: Es el valor de corte del diagrama de momentos de la viga (ton).

Q: Es el momento de inercia del área comprendida entre la fibra de análisis y la fibra más externa todo con respecto a el eje neutro (m³).

I: Es el valor de la inercia total de la sección compuesta (m⁴).

b: Es el ancho de la sección en el sitio donde se quiera obtener el valor del esfuerzo cortante (m).

En la Figura 2.10 se muestra el nombre asignado a cada material de la sección compuesta para que se tenga relación con las formulas.

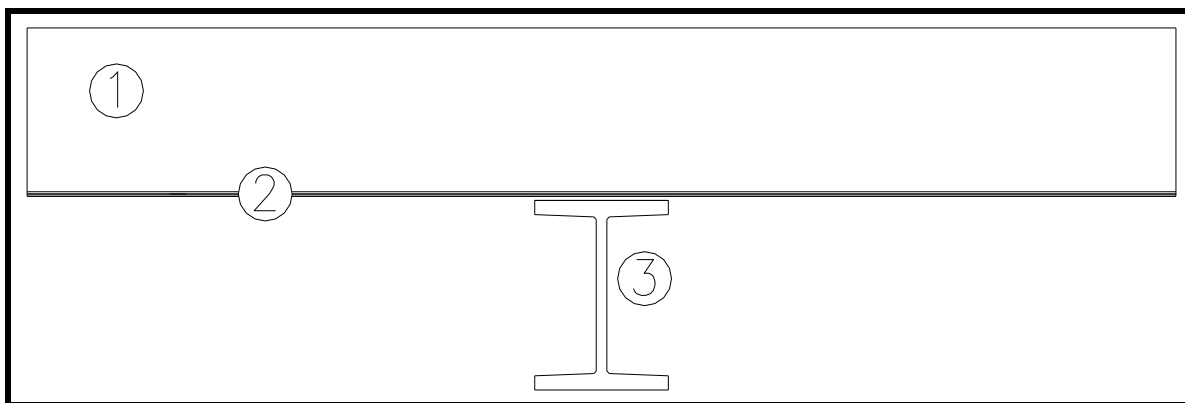


FIGURA 2.10. NOMBRES DE LOS MATERIALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA.

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Para poder comparar con los resultados del laboratorio se creyó conveniente obtener los valores de la carga P que es la carga aplicada a nuestra losa. Para obtener el valor de P se reemplazó el momento máximo en la formula de esfuerzo flector como en la formula siguiente y se despejó P.

$$\sigma_x = \frac{\left(\frac{WL^2}{8} - \frac{WLa}{2} + Pb \right) \cdot y \cdot E_s}{E_c E_1 + E_d E_2 + E_s E_3}$$

Para averiguar que fibra puede fallar primero si la del hormigón o la del acero, primero tomamos el valor máximo del momento para deducir que fibra tiene mayores esfuerzos si en el hormigón o en el acero. En la flexión las fibras más esforzadas son las fibras más externas.

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} - \frac{WLa}{2} + Pb$$

$$M_{\max} = \frac{0.180 * 3^2}{8} - \frac{0.180 * 3 * 0.1}{2} + 5.3517 * 0.6$$

$$M_{\max} = 3.38652 \text{ Ton} - m$$

$$\sigma_1 = \frac{M \cdot y \cdot E_s}{E_c I_1 + E_d I_2 + E_s I_3}$$

$$\sigma_1 = \frac{3.38652 * 0.0503172 * 2274860}{2274860 * 0.00004246 + 21000000 * 0.00000182 + 20430000 * 0.0000125668} \quad 9$$

$$\sigma_1 = 990.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{M \cdot y \cdot E_s}{E_C I_1 + E_D I_2 + E_S I_3}$$

$$\sigma_3 = \frac{3.38652 * 0.1503328 * 20430000}{2274860 * 0.00004246 + 21000000 * 0.00000182 + 20430000 * 0.0000125668 \cdot 9}$$

$$\sigma_3 = 26563.55 \text{ Ton/m}^2$$

Con esto vemos que en el acero se producen esfuerzos más grandes que en el hormigón por lo tanto fallará primero, con esto podemos obtener un valor de P con la fórmula antes presentada.

$$25400 = \frac{\left(\frac{0.180 * 3^2}{8} - \frac{0.180 * 3 * 0.1}{2} + P * 0.6 \right) * 0.1503328 * 20430000}{2274860 * I_1 + 21000000 * I_2 + 20430000 * I_3}$$

$$P = 5.10 \text{ Ton}$$

Para el esfuerzo cortante necesitamos obtener la inercia total de la sección compuesta por lo que nos ayudamos con la Figura 2.11

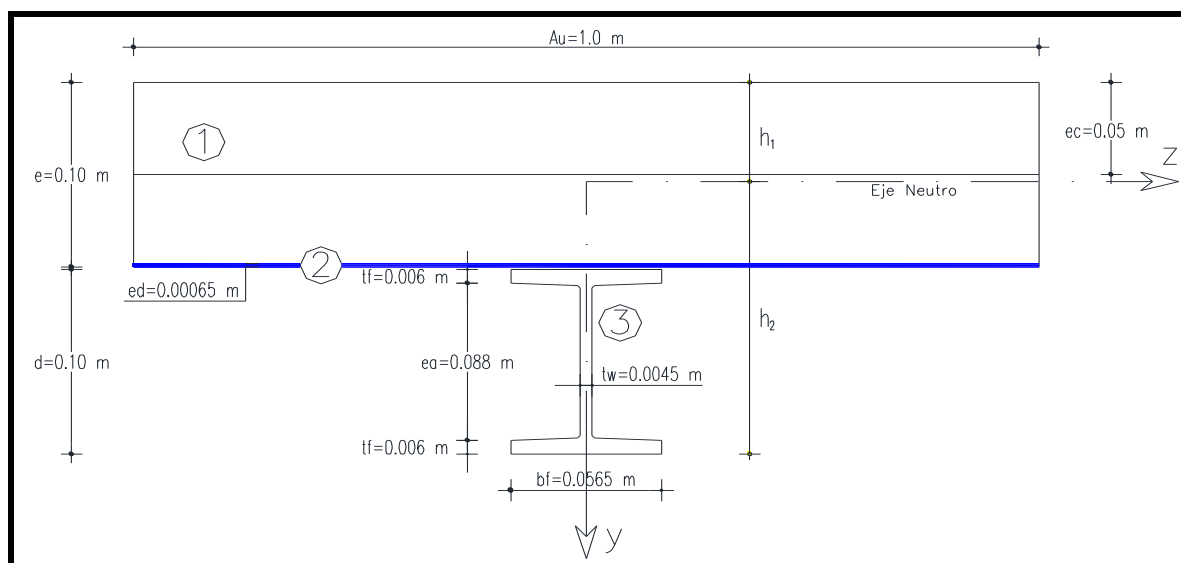


FIGURA 2.11. INERCIA TOTAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

CUADRO 2.2. INERCIA TOTAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA

SECCIÓN	ÁREA	x	y	Ix	Ay	Ay ²
1	0.075	0	-0.0253	0.00001041667	-0.00126586	0.00003204803
2	0.00065	0	0.04666	0.00000000002	0.000032505	0.00000162551
A	0.000339	0	0.04998	0.00000000102	0.00001808	0.00000096425
B	0.000396	0	0.09698	0.00000256	0.000039732	0.0000039864
C	0.000339	0	0.14398	0.00000000102	0.000049946	0.00000735866
				0.00001067428		0.00004598284

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$I_{total} = 0.0000566571 \text{ m}^4$$

Para saber en que sitio hay un mayor esfuerzo cortante, examinamos la ecuación en diferentes puntos de la sección compuesta que se muestra en la Figura 2.12.

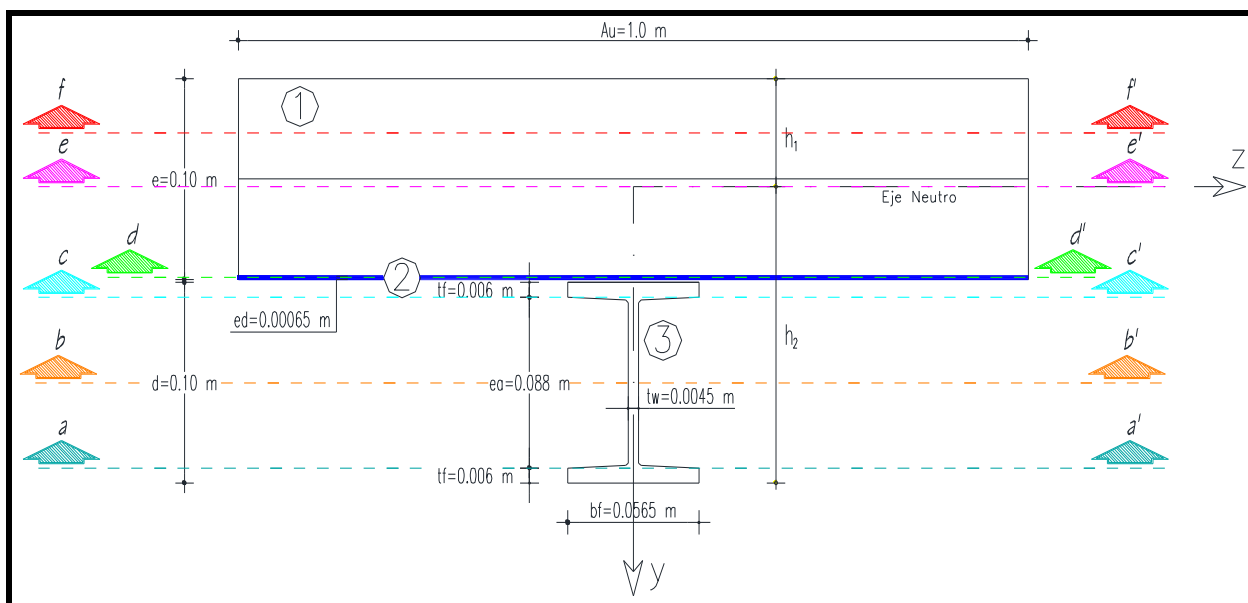


FIGURA 2.12. PUNTOS DE ANÁLISIS DE LA SECCIÓN COMPUESTA
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

Tomamos como valor de referencia para sacar los valores de esfuerzo cortante el valor de corte máximo de la viga. Se eligió un valor cualquiera de P.

$$V_{\max} = -Wa + P + \frac{WL}{2} = (-0.18 * 0.10) + 5.377 + \frac{0.18 * 3}{2}$$

$$V_{\max} = 5.62958 \text{ Ton}$$

Con este examinamos el valor del esfuerzo cortante en los diferentes puntos.

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{a-a'} = \frac{5.62958}{0.0000566571 \cdot 2(0.0565)} [(0.006 * 0.0565)(0.1503328 - 0.003)]$$

$$\tau_{a-a'} = 87.84 \text{ Ton} / m^2$$

$$\tau_{b-b'} = \frac{5.62958}{0.0000566571 \cdot 2(0.0045)} \left[\left(\frac{0.088 * 0.0045}{2} \right) \left(0.1503328 - 0.006 - \frac{0.088}{4} \right) + (0.006 * 0.0565)(0.1503328 - 0.003) \right]$$

$$\tau_{b-b'} = 1637.6605 \text{ Ton} / m^2$$

$$\tau_{c-c'} = \frac{5.62958}{0.0000566571 \cdot 2(0.0565)} \left[(0.088 * 0.0045) \left(0.1503328 - 0.006 - \frac{0.088}{2} \right) + (0.006 * 0.0565)(0.1503328 - 0.003) \right]$$

$$\tau_{c-c'} = 157.71 \text{ Ton} / m^2$$

$$\tau_{d-d'} = \frac{5.62958}{0.0000566571 \cdot 2(1.0)} \left[(1 * 0.00065) \left(0.1503328 - 0.1 - \frac{0.00065}{2} \right) + (0.006 * 0.0565) \right. \\ \left. (0.1503328 - 0.1 + 0.003) + (0.088 * 0.0045)(0.1503328 - 0.006 - 0.044) \right. \\ \left. + (0.006 * 0.0565)(0.1503328 - 0.003) \right]$$

$$\tau_{d-d'} = 13.94 \text{ Ton} / m^2$$

$$\tau_{e-e'} = \frac{5.62958}{0.0000566571 \cdot 2 * 1.0} \left[\left(\frac{1.0 * 0.0503172}{2} \right) \right]$$

$$\tau_{e-e'} = 125.78 \text{ Ton} / m^2$$

$$\tau_{f-f'} = \frac{5.62958}{0.0000566571} \left[\left(\frac{0.05 * 1.0}{2} \right) \left(0.0503172 - \frac{0.05}{4} \right) \right]$$

$$\tau_{f-f'} = 93.94 \text{ Ton} / m^2$$

En los resultados anteriores en la viga I es donde se produce el mayor esfuerzo cortante. Entonces se busca el valor de P haciendo llegar al material al esfuerzo de fluencia por corte. Se encontrará dicha fluencia con la fórmula de Poisson.

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2.23)$$

Donde:

G: En nuestro caso sería el esfuerzo de fluencia por cortante (ton/m²)

E: Es para nosotros el esfuerzo de fluencia a flexión que conocemos (ton/m²)

μ: Modulo de Poisson que para el acero es 0.27

$$G = \frac{23250}{2(1 + 0.27)} = 9153.5 \text{ ton} / m^2$$

Entonces para que el Deck llegue a fluir por corte necesitamos la siguiente fuerza P:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$9153.5 = \frac{V_{b-b'} \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$9153.5 = \frac{V_{b-b'}}{0.0000566571} \left[\left(\frac{0.088 * 0.0045}{2} \right) \left(0.1503328 - 0.006 - \frac{0.088}{4} \right) + \right. \\ \left. \left[(0.006 * 0.0565) (0.1503328 - 0.003) \right] \right]$$

$$V = 31.47 \text{ Ton} = (-0.18 * 0.10) + P + \frac{0.18 * 3}{2}$$

$$P = 31.22 \text{ Ton}$$

2.3.3 ESFUERZOS SUPONIENDO SÓLO VIGA METÁLICA

El primer paso es obtener la inercia de la viga I respecto a su propio eje neutro. El eje neutro de la viga al ser simétrica en ambos sentidos se encuentra justo en el medio del alma como indica la Figura 2.13.

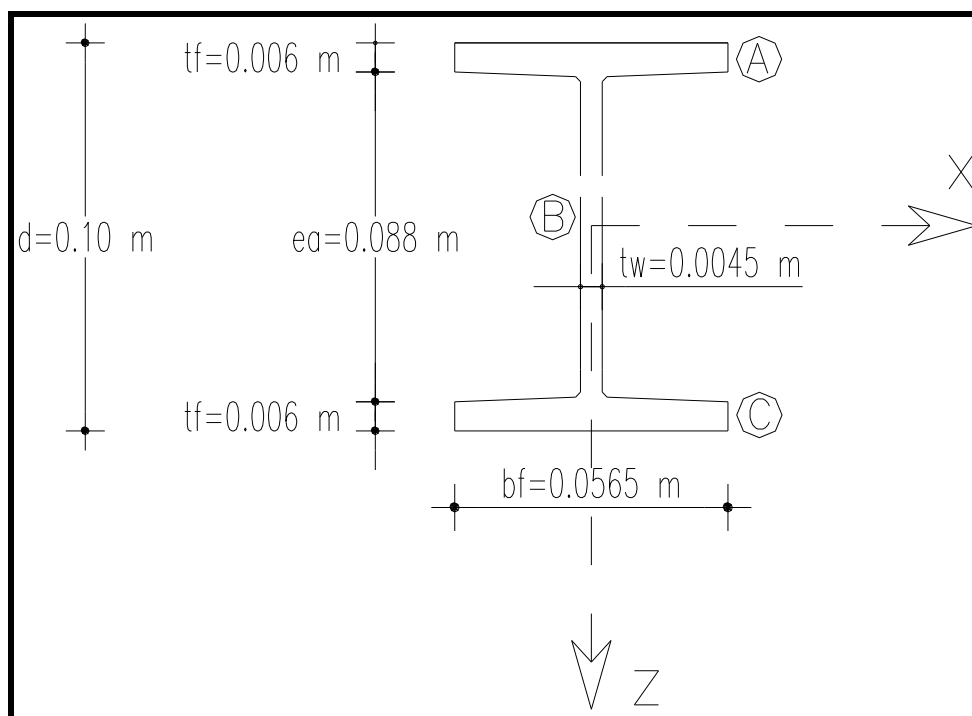


FIGURA 2.13. GEOMETRIA DE LA VIGA METÁLICA
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

CUADRO 2.3. INERCIA DE LA VIGA I

SECCIÓN	ÁREA	x	y	I_x	Ay	Ay^2
A	0.000339	0	0.047	0.00000000102	0.00001593	0.00000075
B	0.000396	0	0	0.00000025555	0.00000000	0.00000000
C	0.000339	0	-0.047	0.00000000102	-0.00001593	0.00000075
				0.00000026		0.00000150

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$I_x = 0,000001755 \quad m^4$$

Tomando en cuenta que el esfuerzo de fluencia de esta viga es 25400 kg/cm^2 que sería el esfuerzo de flexión al que debe llegar para fallar encontramos el momento.

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$25400 = \frac{M * 0.05}{0.000001755}$$

$$M = 0.89154 \text{ Ton} - m$$

Con la fórmula del momento máximo que se obtuvo para la viga despejamos el valor de P.

$$M_{\max} = \frac{WL^2}{8} - \frac{WLa}{2} + Pb$$

Despejo P

$$P = 1.19 \text{ Ton}$$

Encontramos la fluencia por corte con la fórmula de Poisson.

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

Donde:

G: En nuestro caso sería el esfuerzo de fluencia por cortante (ton/m^2).

E: Es para nosotros el esfuerzo de fluencia a flexión de la viga (ton/m^2)

μ : Modulo de Poisson que para el acero es 0.27.

$$G = \frac{25400}{2(1 + 0.27)} = 10000 \text{ ton} / \text{m}^2$$

Entonces para que el Deck llegue a fluir por corte necesitamos la siguiente fuerza P:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$10000 = \frac{V_{b-b'} \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$10000 = \frac{V_{b-b'}}{(0.000001755 * 0.0045)} \left[(0.044 * 0.0045) \left(\frac{0.088}{4} \right) + (0.006 * 1 * 0.0565) * (0.05 - 0.003) \right]$$

$$V = 3.89 \text{ Ton} = (-0.18 * 0.10) + P + \frac{0.18 * 3}{2}$$

$$P = 3.64 \text{ Ton}$$

2.3.4 ESFUERZOS SUPONIENDO SÓLO LOSA DECK

El primer paso es obtener la inercia de la viga I respecto a su propio eje neutro. En esta sección se debe encontrar un nuevo eje neutro con la ayuda de la Figura 2.14

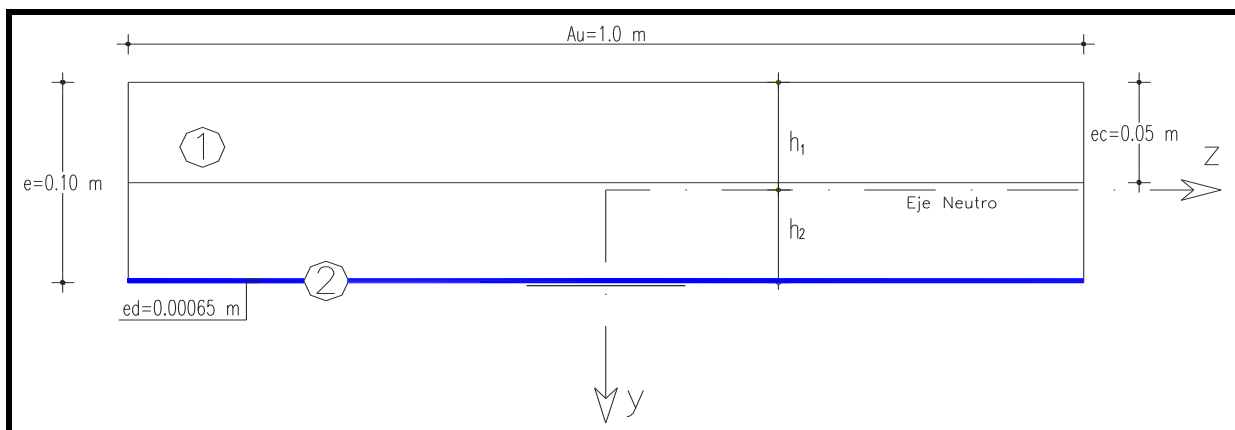


FIGURA 2.14. INERCIA SECCION LOSA DECK.
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$\int_1 y \cdot dA = (h_1 * 1) \left(\frac{h_1}{2} \right) - \frac{(0.075 - h_1)^2 (1)}{2}$$

$$\int_2 y \cdot dA = -(0.00065 * 1) \left(0.1 - h_1 - \frac{0.00065}{2} \right)$$

Sumatoria de Ecuaciones

$$E_1 \int_1 y \cdot dA + E_2 \int_2 y \cdot dA = 0$$

$$E_1 * \text{Ecuación 1} + E_2 * \text{Ecuación 2} = 0$$

$$\left[\left(\frac{h_1^2}{2} \right) - \frac{(0.075 - h_1)^2}{2} \right] * 2274860 - \left[0.00065 * \left(0.1 - h_1 - \frac{0.00065}{2} \right) \right] * 21000000 = 0$$

$$h_1 = 0.0421 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.1006 - 0.0421 = 0.0585 \text{ m}$$

CUADRO 2.4. INERCIA DE LA LOSA DECK.

SECCIÓN	ÁREA	x	y	Ix	Ay	Ay ²
1	0.075	0	0.0046	0.00003515625	0.00034500	0.00000159
2	0.00065	0	0.0582	0.00000000002	-0.00003785	0.00000220
				0.00003516		0.00000379

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$I = 0.000038947 \text{ m}^4$$

Una vez obtenido el eje neutro de la sección necesitamos extraer por separado para cada material la inercia. Para sacar los momentos de inercia nos ayudamos con el teorema de los ejes paralelos.

Primero para el hormigón sería:

$$I = \frac{b * h^3}{12} + Ay^2$$

$$I_1 = \frac{1 * 0.075^3}{12} + (1 * 0.075) \left(0.0421 - \frac{0.075}{2} \right)^2$$

$$I_1 = 0.00003674 \text{ m}^4$$

Para el Deck es:

$$I_2 = \frac{1 * 0.00065^3}{12} + (1 * 0.00065) \left(0.05855 - \frac{0.00065}{2} \right)^2$$

$$I_2 = 0.0000022 \text{ m}^4$$

Para obtener el valor de P se reemplazó el momento máximo en la ecuación de esfuerzo flector y se despejó P.

$$\sigma_x = \frac{\left(\frac{WL^2}{8} - \frac{WLa}{2} + Pb \right) \cdot y \cdot E_s}{E_c E_1 + E_D E_2 + E_s E_3}$$

$$10000 = \frac{\left(\frac{0.180 * 3^2}{8} - \frac{0.180 * 3 * 0.1}{2} + P * 0.6 \right) * 0.05855 * 21000000}{2274860 * 0.00003674 + 21000000 * 0.0000022}$$

$$P = 0.15 \text{ Ton}$$

Según los resultados anteriores en el Deck es donde se produce el mayor esfuerzo

Entonces para que el Deck llegue a fluir por corte necesitamos la siguiente fuerza P:

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$9153.5 = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$9153.5 = \frac{V}{(0.000038947 * 0.00065)} \left[(1 * 0.00065) \left(0.05855 - \frac{0.00065}{2} \right) \right]$$

$$V = 6.12 \text{ Ton} = (-0.18 * 0.10) + P + \frac{0.18 * 3}{2}$$

$$P = 5.87 \text{ Ton}$$

2.3.5 RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los esfuerzos se recopilan en el Cuadro 2.5.

CUADRO 2.5. RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

	Sección Compuesta	Perfil I	Losa Deck
Sitio de falla a Momento	Perfil I fibra inferior	Perfil I fibra inferior	Lamina Deck
Sitio de falla a Cortante	Alma I	Centro del alma perfil I	Lamina Deck
P de falla a Momento	5.10 ton	1.19 ton	0.15 ton
P de falla a Cortante	31.22 ton	3.64 ton	5.87 ton

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

De estos resultados se sabe que al combinar el perfil I y la Losa Deck se multiplica la resistencia de la sección. Por otro lado los esfuerzos cortantes no son del todo comparables entre si.

2.3.6 RESISTENCIA DE LOS CONECTORES

Se requiere conocer cual es la fuerza P necesaria para que los conectores de corte propuestos se fracturen o lleguen a sus puntos de fluencia.

Para esto hacemos uso de la formula de flujo de corte que tiene la siguiente expresión:

$$f = \frac{V * Q}{I} \quad (2.24)$$

Esta expresión es similar a la del esfuerzo cortante y tiene los mismos términos. Sabemos también que este flujo de corte es una fuerza distribuida en una línea, la misma que la absorben los conectores de corte. Los conectores a su vez están distribuidos a una distancia S por lo que la formula de flujo de corte se puede expresar como sigue. Solo para el caso de los arcos esta relación cambia ya que son 2 fuerzas las que soportan el cortante.

$$f = \frac{F}{S} \quad (2.25)$$

Ya se había planteado también la formula de cortante máximo para el caso de nuestra viga.

$$V_{\max} = -W * a + P + \frac{W * L}{2}$$

Uniando las tres ecuaciones antes mencionadas y despejando P , se puede obtener un valor de esta carga para el cual los conectores fallaran.

$$\frac{F}{S} = \frac{\left(-W * a + P + \frac{W * L}{2}\right) * Q}{I}$$

$$P = \frac{F * I}{S * Q} + W * a - \frac{W * L}{2}$$

La carga P varía entre uno y otro conector gracias a que los valores de F y S cambian. Encontramos la fluencia por corte con la fórmula de Poisson.

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

Para las varillas el esfuerzo de fluencia a corte es el siguiente:

$$G = \frac{42000}{2(1 + 0.27)} = 16535 \text{ .4ton / m}^2$$

Para la sección UPN es:

$$G = \frac{23250}{2(1 + 0.27)} = 9153 \text{ .5ton / m}^2$$

Entonces la fuerza F para que los conectores lleguen a fallar es la que sigue.

$$F = \text{Esfuerzo de fluencia por corte} * \text{area del conector}$$

Para la primera losa con los conectores tipo varilla la fuerza es:

$$F = 16535 \text{ .4} * \frac{\pi * .016^2}{4} = 3.32 \text{ ton}$$

Para el caso de los arcos la fuerza es:

$$F = 16535 \text{ .4} * \frac{\pi * .01^2}{4} = 1.3 \text{ ton}$$

Y para las secciones UPN la fuerza es:

$$F = 915 \text{ .35} * 0.461 * 0.05 = 21 \text{ .1ton}$$

Para el ensayo se puso un conector de corte en cada valle del Deck por lo que sabemos que la distancia S de separación entre los conectores es 0.3562m. Ahora la ecuación general para calcular la carga P dependiendo de la capacidad de cada uno de los conectores quedaría reemplazando valores de la siguiente manera.

$$P = \frac{F * 0.0000566571}{0.3562 * Q} + 0.18 * 0.1 - \frac{0.18 * 3}{2}$$

$$Q = 0.006 * 0.0565 * (0.1503328 - 0.1 + 0.003) + 0.0045 * 0.088 * (0.1503328 - 0.05) + 0.006 * 0.0565 * (0.1503328 - 0.003)$$

$$Q = 0.00010776$$

Los valores de carga P obtenidos son los siguientes:

CUADRO 2.6. CARGA P PARA QUE FALLEN CONECTORES.

Losa #	Tipo de Conector	F (ton)	P (ton)
Losa 2	Varillas	3.32	4.65
Losa 3	Arcos	1.3	3.59
Losa 4	UPN	21.1	30.89

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

2.3.7 RIGIDEZ DEL SISTEMA COMPUESTO

Para tener otra comparación de los resultados teóricos con los obtenidos en los ensayos es necesario obtener un valor de la rigidez de la sección compuesta. Ya que la deformación de una viga depende de la rigidez, variando los valores de la carga y deformación se obtiene el resultado de este término. Pero el término de la rigidez tiene que ver con la inercia de la sección y su módulo de elasticidad. Para encontrar un valor teórico de la rigidez se analiza la expresión del esfuerzo a flexión.

Resumen de Formulas de Vigas Compuestas

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

$$\sigma = \frac{MyE_1}{E_1I_1 + E_2I_2}$$

$$Rigidez = E_1I_1 + E_2I_2$$

Para nuestro caso la rigidez del sistema compuesto es:

$$Rigidez = E_c I_c + E_{deck} I_{deck} + E_{viga} I_{viga}$$

Donde los módulos de elasticidad de los 3 distintos Materiales

$$\left[\begin{array}{l} E_1 = E_{hormigon} = 2274860 \text{ Ton} / m^2 \\ E_2 = E_{deck} = 21000000 \text{ Ton} / m^2 \\ E_3 = E_{viga} = 20430000 \text{ Ton} / m^2 \end{array} \right.$$

Y las inercias son:

$$\left[\begin{array}{l} I_1 = I_{hormigon} = 0.00004246 \text{ m}^4 \\ I_2 = I_{deck} = 0.00000182 \text{ m}^4 \\ I_3 = I_{viga} = 0.0000125668 \text{ m}^4 \end{array} \right.$$

$$Rigidez = 2274860 * 0.00004246 + 21000000 * 0.00000182 + 20430000 * 0.0000125668 \quad 9$$

$$Rigidez = 391.55 \text{ Tm}^2$$

Si a este valor de rigidez se le separa el valor del módulo de elasticidad planteando que la viga trabaja con el total de la inercia entonces el módulo de elasticidad de la sección compuesta sería:

$$E_{\text{sección compuesta}} = \frac{\text{Rigidez a Flexión}}{I_{\text{total}}}$$

$$E_{\text{sección compuesta}} = \frac{391.55}{0.0000566571 \quad 2}$$

$$E_{\text{sección compuesta}} = 6910870.2 \text{ Ton} / \text{m}^2$$

Otra forma de comprobar este valor de rigidez es transformando toda la sección a una viga de un solo material. La sección transformada a acero es.

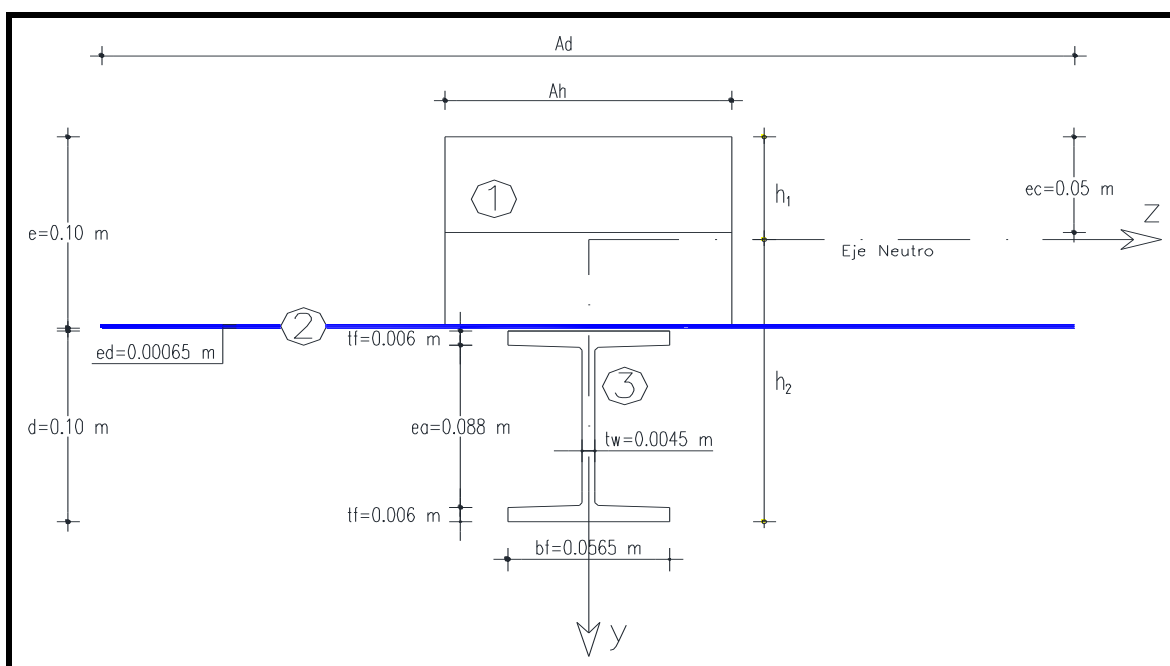


FIGURA 2.15. TRANSFORMACIÓN DE TODA LA SECCIÓN A UN SOLO MATERIAL

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

$$n_1 = \frac{E_1}{E_3}$$

$$n_2 = \frac{E_2}{E_3}$$

$$n_1 = \frac{2274860}{20430000}$$

$$n_2 = \frac{21000000}{20430000}$$

$$n_1 = 0.111349$$

$$n_2 = 1.0279$$

$$h_1 = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}$$

$$h_1 = \frac{(0.05 * 0.111349) \left(\frac{0.05}{2} \right) + (0.00065 * 1.0279) \left(0.1 + \frac{0.00065}{2} \right) + (0.006 * 0.0565)}{(0.05 * 0.111349) + (0.00065 * 1.0279) + (0.006 * 0.0565)} + \frac{(0.0045 * 0.088)(0.20065 - 0.05) + (0.006 * 0.0565)(0.20065 - 0.003)}{(0.0045 * 0.088) + (0.006 * 0.0565)}$$

$$h_1 = 0.05034691 \quad m$$

$$I_T = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + A_i y_i^2$$

$$I_T = \frac{0.111349 * 0.05^3}{12} + (0.111349 * 0.05) \left(0.05034691 - \frac{0.05}{2} \right)^2 + \frac{1.0279 * 0.00065^3}{12} + (1.0279 * 0.00065) \left(0.1 + \frac{0.00065}{2} - 0.05034691 \right)^2 + \frac{0.0565 * 0.006^3}{12} + (0.0565 * 0.006) (0.1 + 0.00065 + 0.003 - 0.05034691)^2 + \frac{0.0045 * 0.088^3}{12} + (0.0045 * 0.088) (0.1 + 0.00065 + 0.003 + 0.05 - 0.05034691)^2 + \frac{0.0565 * 0.006^3}{12} + (0.0565 * 0.006) (0.20065 - 0.003 - 0.05034691)^2$$

$$I_T = 0.00001921 \quad m^4$$

$$Rigidez = I_T E_s$$

$$Rigidez = 0.00001921 * 20430000$$

$$Rigidez = 392.42 \quad Tm^2$$

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

3.1.INTRODUCCIÓN

El ensayo comienza cortando los perfiles tipo I de 3m de largo. En segundo lugar se deben cortar las planchas de acero Deck a cada metro esto es por la dirección en la que se esta planteando hacer el proyecto con las líneas de corrugado del acero en dirección perpendicular a la vigueta de apoyo. Ya que las planchas vienen de fabrica de 1m de ancho útil y aproximadamente 6m de largo o en ciertos casos de medidas según las necesidades del cliente; se hizo necesario cortarlas de tal forma que colocando una plancha junto a la otra sumen los 3m exactos para completar la sección de análisis esto se lo puede apreciar en la Foto3.1.



FOTO 3.1. CORTE DE LA PLANCHA A 1X1 M.

Por la particularidad del ensayo se hizo necesario sujetar la primera plancha a la viga I con un punto de suelda para mantener momentáneamente la placa centrada a la viga. Sujeta la primera plancha es más sencillo el fijar el resto de placas a la viga con los pernos autoroscantes provistos por el fabricante.

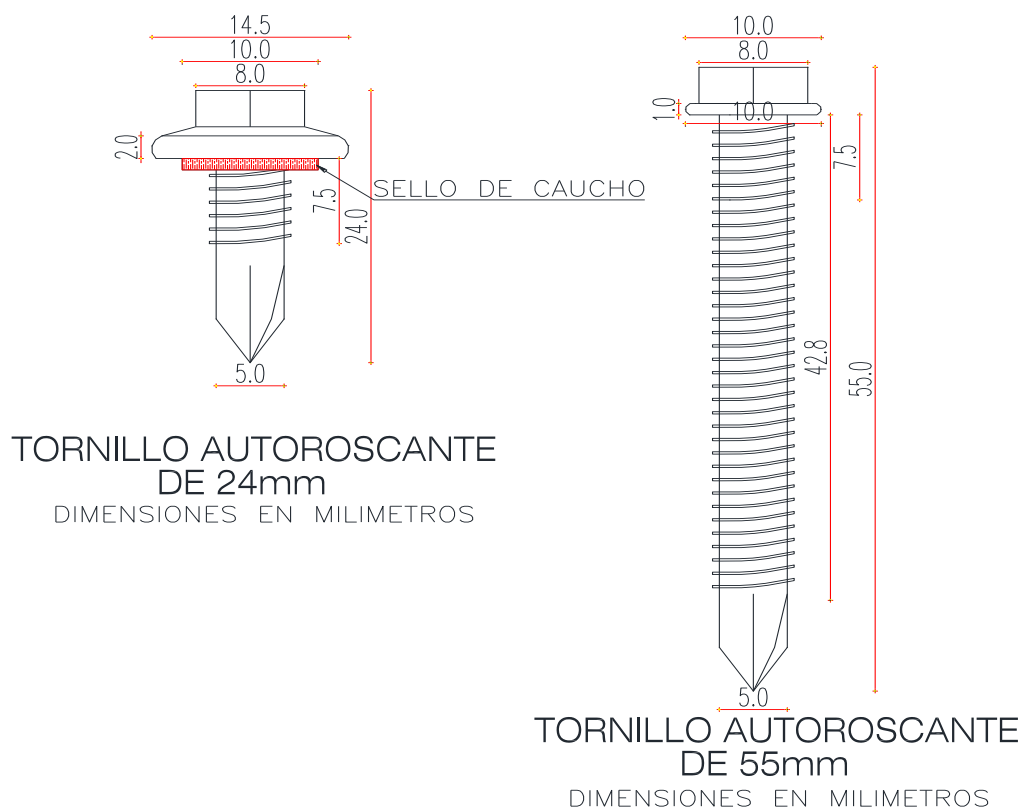
Como dato adicional después de colocar las planchas una junto a la otra debido a los traslapes, la totalidad de las planchas sobresalió de la dimensión de la viga por lo que en cada losa fue necesario afinar la medida de la última plancha con un corte de aproximadamente de 5cm de ancho. De esta manera quedaron los 3m exactos de dimensión de la losa.



FOTO 3.2. COLOCACIÓN DE PERNOS PARA ASEGURAR EL TRASLAPE DE LAS PLANCHAS.

A los pernos autoroscantes se los colocó uno en cada valle del Deck. Los pernos autoroscantes son pernos que tienen una llamada punta balística que es semejante a la punta de una broca para taladro, en el resto del perno tiene una rosca parecida a la de un tornillo pero en cambio la cabeza esta hecha para ajustarse con una llave de tuercas por lo general de 8mm. Los pernos de 55mm de longitud y 5mm de ancho se colocaron a lo largo del eje de la viga metálica y sirven para sujetar la plancha a la sección I. En el traslape entre las dos planchas se colocan en cambio los pernos de 24mm de longitud, estos pernos deben estar puestos en cada 20 a 25cm aproximadamente. Los pernos de 24mm vienen con un sello de caucho que sirve para evitar la corrosión en la plancha metálica y su colocación se la ve en la Foto 3.2. Las dimensiones de estos pasadores se especifican en la Figura 3.1. Los pernos se colocan con un adaptador de llaves de corona para taladro, esto facilita la colocación de los tornillos.

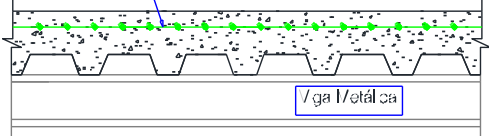
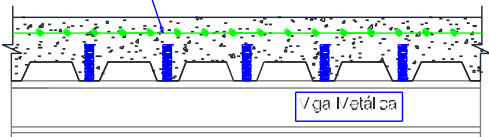
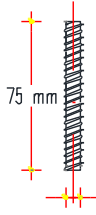
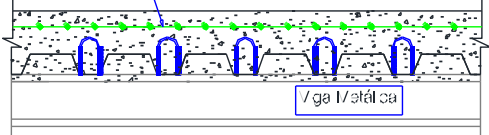
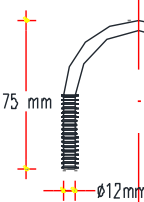
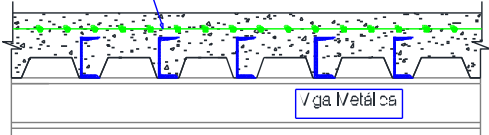
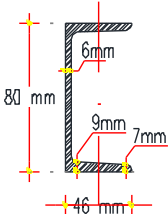
FIGURA 3.1. TORNILLOS AUTOROSCANTES



ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

El siguiente paso después de colocada la plancha es poner los conectores de corte. Cabe anotar que por facilidad en la manipulación y limpieza de la losa se colocó un plástico negro en la parte inferior de las losas previo al encofrado de las mismas. Esto facilitó la limpieza de las rebabas que quedan después de la fundición sobre el piso del laboratorio. El plástico se debió extender en el suelo previo a la colocación de las partes soldadas de la losa y anticipado al encofrado de la misma.

CUADRO 3.1. LOSAS A ENSAYARSE CON SUS CONECTORES DE CORTE

<p style="text-align: center;">LOSA #1</p> 	<p style="text-align: center;">SIN CONECTOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sin Ningun tipo de Conector de Corte • Espesor de la losa =10cm • Malla Electrosoldada $\varnothing 4$ cada 10cm • Viga I 100X56.5X6X4.5 • Acero de Fluencia $f'_y=4200$ kg/cm²
<p style="text-align: center;">LOSA #2</p> 	<p style="text-align: center;">CONECTOR - VARILLA I $\varnothing 14$</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Malla Electrosoldada $\varnothing 4$ cada 10cm • Viga I 100X56.5X6X4.5 • Acero de Fluencia $f'_y=4200$ kg/cm² • Conector de Corte con Varilla Carrugada
<p style="text-align: center;">LOSA #3</p> 	<p style="text-align: center;">CONECTOR - ARCO $\varnothing 10$</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Malla Electrosoldada $\varnothing 4$ cada 10cm • Viga I 100X56.5X6X4.5 • Acero de Fluencia $f'_y=4200$ kg/cm² • Conector de Corte con Varilla Carrugada doblada manualmente en forma de arco
<p style="text-align: center;">LOSA #4</p> 	<p style="text-align: center;">CONECTOR - PERFIL UPN</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Malla Electrosoldada $\varnothing 4$ cada 10cm • Viga I 100X56.5X6X4.5 • Acero de Fluencia $f'_y=4200$ kg/cm² • Conector de Corte con pedazos de perfil UPN

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

En el Cuadro 3.1 se muestran los diferentes tipos de conectores de corte utilizados. Para el primer caso no se colocó ningún conector de corte y la plancha metálica irá sujeta directamente a la viga a través de los tornillos autoroscantes apostados en cada valle del Deck. Esta primera losa sin conectores fue la referencia para los resultados con el resto de los ensayos. La alusión que se puede obtener de esta losa es que medida trabaja en conjunto como una sección compuesta.

A partir de la segunda losa se instalaron conectores de corte. Los conectores de corte fueron soldados con una suelda de electrodo E7018 siendo primordial en este paso el soldar el conector de corte directamente a la viga metálica. El proceso de soldado de los Conectores de Corte se lo puede observar en la Foto 3.3.



FOTO 3.3. SOLDADA DE LOS CONECTORES DE CORTE

El conector se suelda directamente a la viga pasando por la plancha metálica ya que con esto se logran dos cosas importantes. En primer lugar se logra unir las inercias de los dos elementos que numéricamente causan un mayor efecto en esta propiedad de la sección. En segundo lugar al unir el hormigón a la viga automáticamente se está presionando el Deck en medio de estos dos elementos, lo que no se conseguiría si el conector de corte fuera sólo soldado a la plancha metálica aparte de ser una tarea difícil ya que el Deck se perfora muy fácilmente por la suelda.

Otro aspecto muy importante cuando se sueldan los conectores de corte es el desplazar la posición en que se encuentra el conector respecto del eje longitudinal de la viga alternando de un lado al otro. Esta forma zigzagueante de ubicar los conectores respecto del eje nos brinda una mayor seguridad de no crear una línea de falla en donde se puedan acumular los esfuerzos de manera recurrente como se muestra en la Foto 3.4.



FOTO 3.4. CONECTORES DE CORTE COLOCADOS DE MANERA ZIGZAGUEANTE SOBRE EL EJE LONGITUDINAL

Por la misma razón expuesta anteriormente en el caso de la cuarta losa los conectores de corte tipo secciones UPN deben ubicarse alternantemente cambiando la dirección del canal de un lado para el otro. Esto se puede observar en la Foto 3.5



FOTO 3.5. CONECTORES DE CORTE UPN COLOCADOS CAMBIANDO DIRECCIÓN EN CADA VALLE

Continuando con la fase de descripción de los modelos como es el caso del segundo ensayo en donde se colocaron varillas de 16mm de diámetro en cada valle sin ningún tipo de dobles y cortadas cada 7.5cm con la moladora. Este conector de corte es el más parecido al Stud, por esto y por el uso generalizado de este tipo de material en las obras es que este conector es de los más usados en nuestro medio, el mismo que se lo puede apreciar más claramente

en la Foto 3.6. Es apropiado acotar que el conector no se encuentra soldado precisamente en el centro del valle. Por el contrario se encuentra un tanto desplazado del centro debido a su corrugación que obliga a desplazar la suelda del conector unos milímetros hacia un lado. El problema de soldar la varilla en el centro es más una situación de practicidad.



FOTO 3.6. CONECTORES DE CORTE CON VARILLA DE 16MM

Al igual que la losa número 2 en la tercera se utilizaron varillas pero esta vez se las utilizó en forma de arco. Las varillas de la tercera losa son de 10mm de diámetro y de igual manera fueron colocadas en cada valle del Deck. Por su forma, a esta varilla se la suelda en dos puntos en un mismo valle. De igual manera la altura del arco no supera los 7.5cm. Para la fabricación de estos conectores de corte se necesitó de igual forma cortar la varilla aproximadamente cada 20cm para posteriormente realizar los dobles de tal forma que el arco no supere los 12cm de ancho en su base. El dobles se lo hizo en una base metálica con la ayuda de un tubo, útil para hacer palanca y doblar la varilla de acero; dicho método o procedimiento sería el similar a ocupar en la construcción.

Al observar la Foto 3.7 referente a este tipo de conector nos damos cuenta que está soldado en forma diagonal en el valle del panel metálico (diagonal respecto del eje transversal al corrugado). Esto se debe a que colocándolo de esta forma se tendría una mayor área en dirección del cortante.



FOTO 3.7. CONECTORES DE CORTE EN FORMA DE ARCO CON VARILLA DE 10MM

Las secciones UPN fueron colocadas en la cuarta losa. Estas secciones fueron cortadas cada 5cm y tienen las dimensiones que se muestran en el Cuadro 3.1. Estos tipos de conectores a usarse al ser laminadas en caliente y de un grosor considerable representan una dificultad más grande al momento de cortar. Los cortes de este perfil se lo realizaron con las llamadas cortadoras sensitivas ideales para hacer secciones más pequeñas de un perfil más alargado. Este tipo de conector se lo puede ver con más en detalle en la Foto 3.8. Al igual que en la segunda losa, este conector de corte se encuentra desplazado unos milímetros de la parte central del valle. De esta manera se puede asegurar que la sección UPN se asiente de manera estable sobre la viga el momento de soldar.



FOTO 3.8. CONECTORES DE CORTE CON SECCIONES UPN

En las fotografías de los conectores de corte se puede observar que estos están soldados directamente a la viga metálica, mientras tanto el Deck se encuentra desprendido de la soldadura entre el conector de corte y la viga metálica.

Después de haber instalado los conectores de corte se procedió a soldar unas varillas a manera de ganchos con el propósito de facilitar la manipulación de las losas. Puesto que a las losas se las tenía que levantar para llevarlas de un sitio a otro en el laboratorio para lo cual se colocó unas varillas de 14 o 16mm en los dos extremos de cada losa. Estas varillas dobladas en forma de arco se las soldó en el ala superior del perfil metálico tipo I. Estos ganchos se los puede ver de mejor manera en la Foto 3.9.



FOTO 3.9. VARILLAS SOLDADAS A LA VIGA I PARA MEJOR MANIPULACIÓN E IZAJE DE LAS LOSAS DECK

Acabado con la instalación metálica se procedió al encofrado, el mismo que se lo realizó con madera de monte de 25cm de ancho por 3m de longitud. Para ahorrar madera se montó el uno junto al otro, de manera que las losas compartan un lado del encofrado. La madera debió ser colocada a los cuatro contornos de cada losa y se dejó suspendido el panel metálico la misma altura de la viga I es decir 10cm. Para dejar esta separación de 10 cm del Deck respecto del suelo, se usó clavos que traspasaban el ancho de la madera suficiente para mantener el Deck en posición.

Los tablonces de madera fueron unidos entre sí con la ayuda de rieles de madera. Los clavos que se usó para este trabajo de carpintería son de 2

pulgadas para madera. Aparte en los extremos de las losas se acomodó un orificio de salida para los ganchos que fueron soldados a los extremos de cada losa. Como se puede contemplar en la Foto 3.10. , se encofró la losa con la ayuda del nivel para procurar las medidas correctas en el momento de fraguado el hormigón.



FOTO 3.10. ENCOFRADO DE LAS LOSAS

Aparte de manipular las losas de tal forma que las planchas metálicas queden niveladas, para ayudar en la fundición de la losa se timbró la madera en todo el contorno interior del encofrado. El timbrado fue realizado a 5cm sobre la cresta del corrugado de la plancha metálica. Dicho proceso se lo puede ver en la Foto 3.11. Esta línea de timbrado señala el máximo al que deberá llegar el hormigón.



FOTO 3.11. TIMBRADO DEL NIVEL MÁXIMO DE FUNDICIÓN

La malla electrosoldada utilizada para este tipo de losas es la de temperatura, la misma que tiene un diámetro de 4mm a cada 10cm y es ideal para resolver la contracción de fragüe y los cambios de temperatura que pueda sufrir la losa.

El corte se lo realizó con moladora en las proporciones de 1m por 3m que sirve justo para cubrir el área de la losa. El corte realizado se lo puede observar en la Foto 3.12.



FOTO 3.12. CORTADO DE LA MALLA ELECTROSOLDADA

En cuanto lo que tiene que ver con su colocación fue necesario acomodar las puntas de las varillas para que esta quepa justo en el área de encofrado. Esto se puede observar en la Foto 3.13. Al colocar la malla electrosoldada apretada en el encofrado colaboró para dejarla a 2.5cm de la línea máxima de fundición del hormigón.



FOTO 3.13. COLOCACIÓN DE LA MALLA ELECTROSOLDADA

El siguiente paso es el vertido del hormigón, solicitado con de resistencia $f'c$ 210kg/cm², el mismo que se lo colocó en obra a través de un mixer y vertido en una bandeja preparada para posteriormente realizar el traslado en carretillas hacia el encofrado ya construido donde se encontrará el Deck. Este procedimiento de traslado ayudó a evitar que se impusieran cargas puntuales

excesivas sobre la plancha metálica lo que en nuestro caso por las características del ensayo era crítico. El vertido de hormigón por medio de carretillas y baldes se lo puede apreciar en la Foto 3.14.



FOTO 3.14. VERTIDO DE HORMIGÓN

Mientras se realiza el vaciado del hormigón se procede al vibrado del mismo y simultáneamente realizar el enlucido. Esto se puede observar en la Foto 3.15. El enlucido en la parte central en aproximadamente 80cm a cada lado del eje central se lo hizo de mejor manera para que se asienten mejor los apoyos.



FOTO 3.15. ENLUCIDO DEL HORMIGÓN

En la foto 3.16 se puede ver el curado diario que se le dio a las losas después de haberlas fundido, el mismo que se lo realizó hasta dos veces por día en la primera semana posterior al fundido del hormigón.



FOTO 3.16. CURADO DEL HORMIGÓN

Junto con el hormigón de las losas también se debió fabricar las probetas para realizar los respectivos ensayos de resistencia y modulo de elasticidad correspondientes a este proyecto. Para fabricar las probetas se utilizó el molde cilíndrico como se muestra en la Foto 3.17.



FOTO 3.17. FABRICACIÓN DE PROBETAS

La fabricación de las probetas se la realizó según las normas ASTM con las que se rige el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Politécnica Nacional. Siguiendo las normativas el hormigón en cada cilindro se colocó en tres capas similares, después de cada capa se lo compactó infringiendo 25 golpes con la varillas distribuidos uniformemente alrededor de la superficie donde se encuentra el hormigón. Posterior al compactado de las tres capas de hormigón se enrazó el cilindro con la varilla o palustre; consecuentemente entre las 18 y 48 horas de fundido el hormigón se lo desencofró y se colocaron a los cilindros en un tanque de agua para su curado como se muestra en la Foto 3.18.



FOTO 3.18. CURADO DE PROBETAS

Tanto a los cilindros como a las losas se los identificó marcando con marcador permanente la fecha de fabricación de los cilindros y en el caso de las losa el numero de losa que identifica el tipo de conector de corte con el que se la fabricó. Podemos ver la identificación de las losas en la Foto 3.19.



FOTO 3.19. IDENTIFICACIÓN DE LAS LOSAS

El desencofrado realizado dos semanas después de la fundición de las losas se lo ejecutó cuidando el no quebrar las esquinas de la losa fundida o evitando desequilibrar las mismas. Se separaron las losas con cuidado haciendo uso de la grúa, actividad que permitió realizar el desencofrado de las tablas que estaban entre las losas en forma adosada. Retirado el encofrado se apoyó las losas lateralmente en los costados paralelos a la viga utilizando rieles de madera. Al quitar las rebabas en el contorno del Deck se notaron algunas imperfecciones de parte del encofrado que proporciona el panel metálico como se muestra en la Foto 3.20.



FOTO 3.20. IMPERFECCIONES EN EL ENCOFRADO DE LAS LOSAS

Para la instalación y el montaje de las losas se utilizó en todo el proceso la ayuda del puente grúa. Como primera acción se despejó un área suficiente para hacer los ensayos. Para elevar las secciones sin dañarlas se colocó un marco metálico sobre el hormigón y se envolvió en dos puntos a la losa con cintas ajustables para no infringir en esfuerzos previos al ensayo. Se levantó a las losas en dos puntos como se muestra en la Foto 3.21 sostenida con el marco metálico y la ayuda de cadenas.



FOTO 3.21. IZAJE DE LAS LOSAS

Se debió colocar los apoyos sujetos al piso del laboratorio. Los apoyos son unos pórticos metálicos altamente resistentes que tienen en su base orificios para poder anclarlos al suelo del laboratorio y en la parte superior tienen un acabado redondeado para aplicar la carga de manera puntual sobre los elementos. El apoyo se muestra en la Foto 3.22. Después de anclar el apoyo se colocaron unos tensores hechos de varilla con terminaciones roscadas que

sirven para que los apoyos no se desplacen horizontalmente en la parte superior el momento de aplicar las cargas.



FOTO 3.22. INSTALACIÓN DE LOS APOYOS.

El anclaje de los apoyos para la losa y del pistón hidráulico que aplica la carga se lo debió hacer con pernos que traspasan el suelo del laboratorio. Estos pernos tienen una rodela y una tuerca que se ajusta en la parte inferior de la losa que hace de suelo del laboratorio. En la Foto 3.23 se puede observar el ajuste de estos pernos.



FOTO 3.23. AJUSTE DE LOS ANCLAJES DE LOS APOYOS.

Para la instalación de las losas sobre los caballetes se midió el punto exacto donde debían ubicarse los apoyos, los mismos que hacen contacto en la viga I mientras los puntos donde se aplicaron las cargas deben estar sobre el hormigón. Como apoyos para la transmisión de las cargas se utilizaron dos viguetas metálicas tubulares que en una de sus caras tienen un acabado redondeado. Este acabado permite hacer la transmisión de fuerzas de manera

puntual, es decir, que la superficie de contacto entre las cargas y la losa es más pequeña.

El pistón hidráulico con el que se aplicaron las cargas tiene de igual manera una montura metálica aporticada que también debe estar anclada a la losa de cimentación del piso del laboratorio. Para la transmisión de la fuerza del pistón a los dos transmisores de las cargas sobre la losa se creó un apoyo que se sujeta al pistón. Este apoyo del pistón tiene las dimensiones mostradas en la Figura 3.2 y sirve para dividir la fuerza aplicada por el pistón en dos fuerzas iguales.

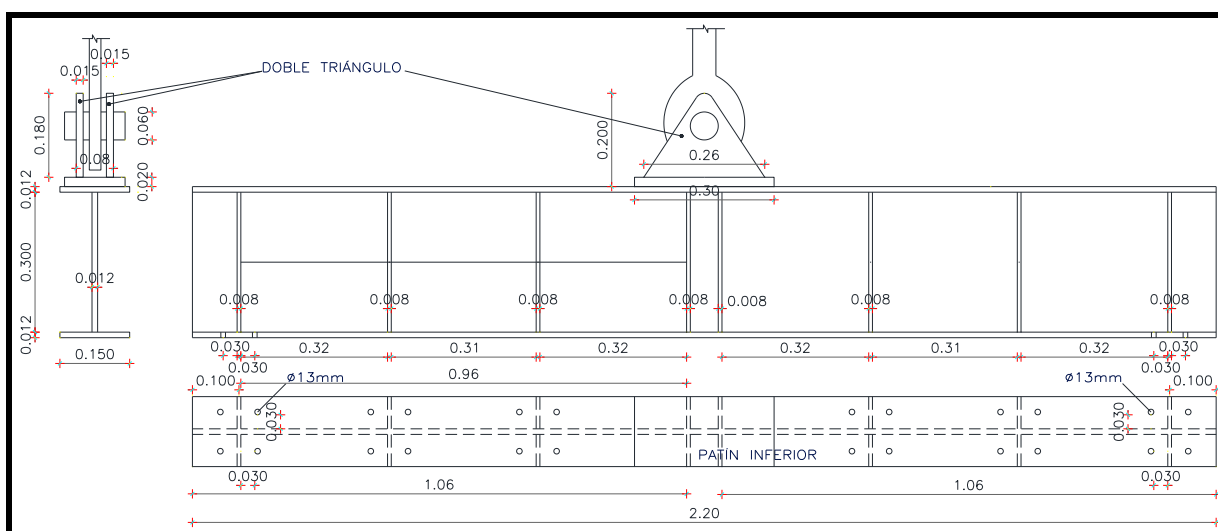


FIGURA 3.2. DIMENSIONES DEL APOYO

La fuerza aplicada sobre la losa entonces será la fuerza que aplique el pistón dividido para dos. La distancia existente entre las dos cargas sobre la losa es de 1.6m, 80cm a cada lado del eje central de la losa y de la posición el pistón. Es importante que las cargas queden simétricamente alineadas porque cualquier desbalance podría hacer que exista una diferencia en el modulo de las cargas que se aplican. Al producir algún desbalance entre ambas cargas aplicadas se alterarían los momentos y cortantes proyectados para el ensayo.

Los sensores de deformación se debieron colocar en puntos estratégicos los mismos que se dispusieron en el eje central de la losa y por de bajo de los puntos donde se aplicaron las cargas. Esta medición de las deformaciones del

elemento losa hace que los valores de módulos de elasticidad sean apreciables. Mediante la utilización de formulas derivadas de la resistencia de materiales se pueden conocer valores de inercia, módulos de elasticidad y otros valores inherentes a nuestro proyecto. Los datos arrojados por los LVDTs en el laboratorio permitieron hacer la comparación entre lo práctico y lo teórico para consecuentemente sacar las conclusiones respectivas

La disposición de los LVDTs se muestra en la Figura 3.3

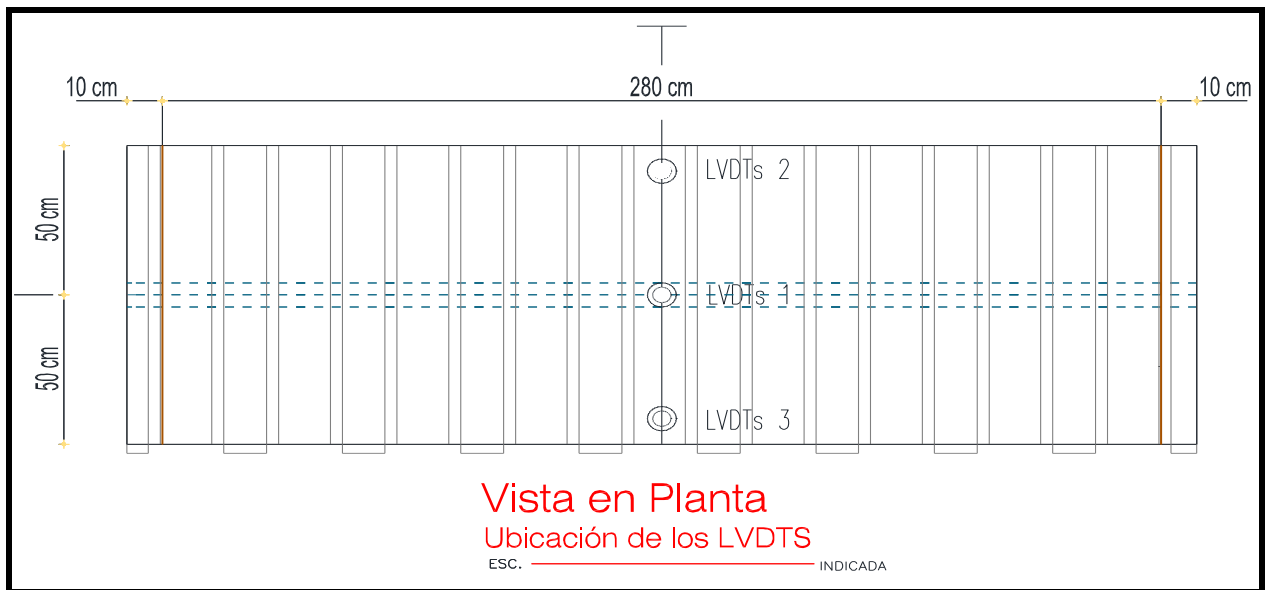


FIGURA 3.3. UBICACIÓN DE LOS LVDTs

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DE ENSAYOS Y PRUEBAS DE CARGA

4.1.INTRODUCCIÓN

Una vez realizada la descripción del procedimiento que se uso en la fabricación de dichos modelos que en nuestro caso son la construcción de cuatro losas estéticamente parecidas pero que en su interior están compuestas de tres distintos conectores de corte como lo son las varillas, arcos y perfiles UPN, se procederá a su respectivo ensayo en el laboratorio de la vivienda siguiendo a cabalidad las normativas impuestas por este centro de investigación.

Paso previo se inspecciona por última vez las losas deck tomando muy en cuenta sus características iniciales ya que después de aplicadas las cargas a dichas losas estas cambiarán de una manera visiblemente notoria. En tal motivo esta parte de inspección antes y después es muy importante ya que en base a esto se podrá llegar a conclusiones mucho más acertadas.

La manipulación del prototipo es muy importante, porque dichos modelos no cuentan con una estabilidad adecuada ya que están asentados sobre la viga I y esta a su vez cuenta con un patín relativamente corto que hace que la sección compuesta pierda equilibrio y sea un poco dificultoso encuadrarla de manera tal que coincida exactamente en los sectores donde se va aplicar la carga.

4.2.ENSAYO LOSA 1

4.2.1 DESCRIPCIÓN

La primera losa a ensayar es la que no cuenta con conectores de corte, su composición esta dada por la siguiente descripción.

- **Viga I 100x56.5x4.5 mm:** Acero A36 con una longitud de 3m

- **Malla Electrosoldada:** $f'y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de $\phi 4@10$
- **Mortero de Hormigón:** $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

El procedimiento para dicho ensayo es la colocación de la sección compuesta con ayuda del puente grúa en los apoyos metálicos que se encuentran anclados al piso del laboratorio para posteriormente colocar en posición el gato hidráulico que repartirá la carga hacia una viga I y esta a su vez a dos perfiles tubulares huecos anclados al perfil y apoyados sobre una tira de madera de $100 \times 5 \times 1$ [cm] que hará contacto con la losa transmitiendo las cargas que se le aplique. El propósito de colocación de estas tiras de madera es la reducción del área de aplicación sobre la losa y así poder asemejar de una mejor manera la carga puntual aplicada.

Una vez instalado el gato hidráulico que este a su vez estará conectado a una bomba encargada de aplicar las cargas progresivamente, se procederá a la colocación de los LVDTs que están ubicados en la parte central de la losa y conectados a un sistema de computadoras que registran y almacenan los datos. En la Figura 4.1 se puede observar de una mejor manera la sección compuesta lista para ensayarse.

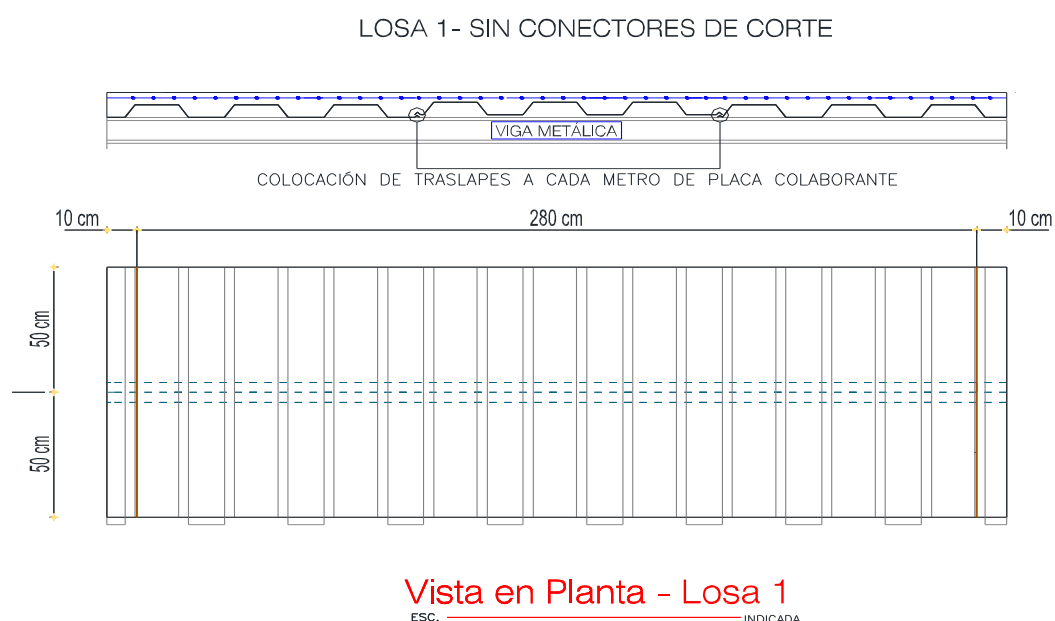


FIGURA 4.1. ARMADO COMPLETO DE LA SECCIÓN COMPUESTA A ENSAYARSE

4.2.2 CICLOS DE CARGA

Los ciclos de cargas aplicadas a la losa se los realiza de una manera progresiva de tal forma de registrar todo el comportamiento de la sección compuesta logrando captar todo tipo de fallas, fisuras, deformaciones, desprendimientos entre otros. A continuación se puede observar en la Figura 4.2 Carga vs Deformación una vez aplicado el primer ciclo de carga en donde ya podemos ver el incremento considerable de la deformación con respecto a la carga aplicada.

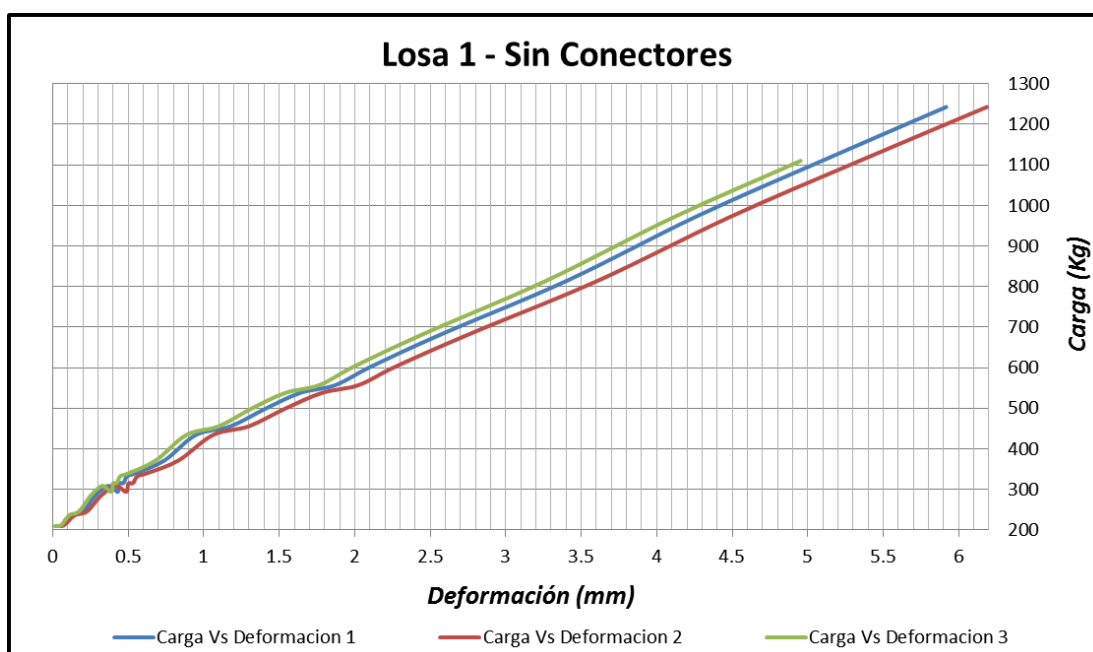


FIGURA 4.2. CARGA VS DEFORMACION
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

4.2.3 PÉRDIDA DE ADHERENCIA

A partir del segundo ciclo de carga podemos evidenciar la pérdida de adherencia entre el deck y el hormigón dicho caso particular se muestra en la Foto 4.1.



FOTO 4.1. PÉRDIDA DE ADHERENCIA ENTRE EL DECK Y EL HORMIGÓN

Se puede ver a simple vista que mientras más se incrementa la carga mayor es la pérdida de adherencia entre la placa colaborante y el hormigón.

4.2.4 FISURAS EN EL HORMIGÓN

Se puede identificar el aparecimiento de fisuras en el hormigón Foto 4.2 las cuales primero se presentan con más notoriedad en el área donde se encuentran los apoyos encargados de transmitir las cargas aplicadas.



FOTO 4.2. FISURAS PRESENTADAS DURANTE LOS DISTINTOS CICLOS DE CARGA

4.2.5 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK

En este ensayo experimental también podemos observar un desplazamiento horizontal de la placa colaborante que varía entre unos 2 a 3 cm como se evidencia en la Foto 4.3. Para tener más notoriedad de este fenómeno se resaltó con tiza amarilla la posición original del deck y con tiza rosada la posición final en donde podemos evidenciar un claro desplazamiento.

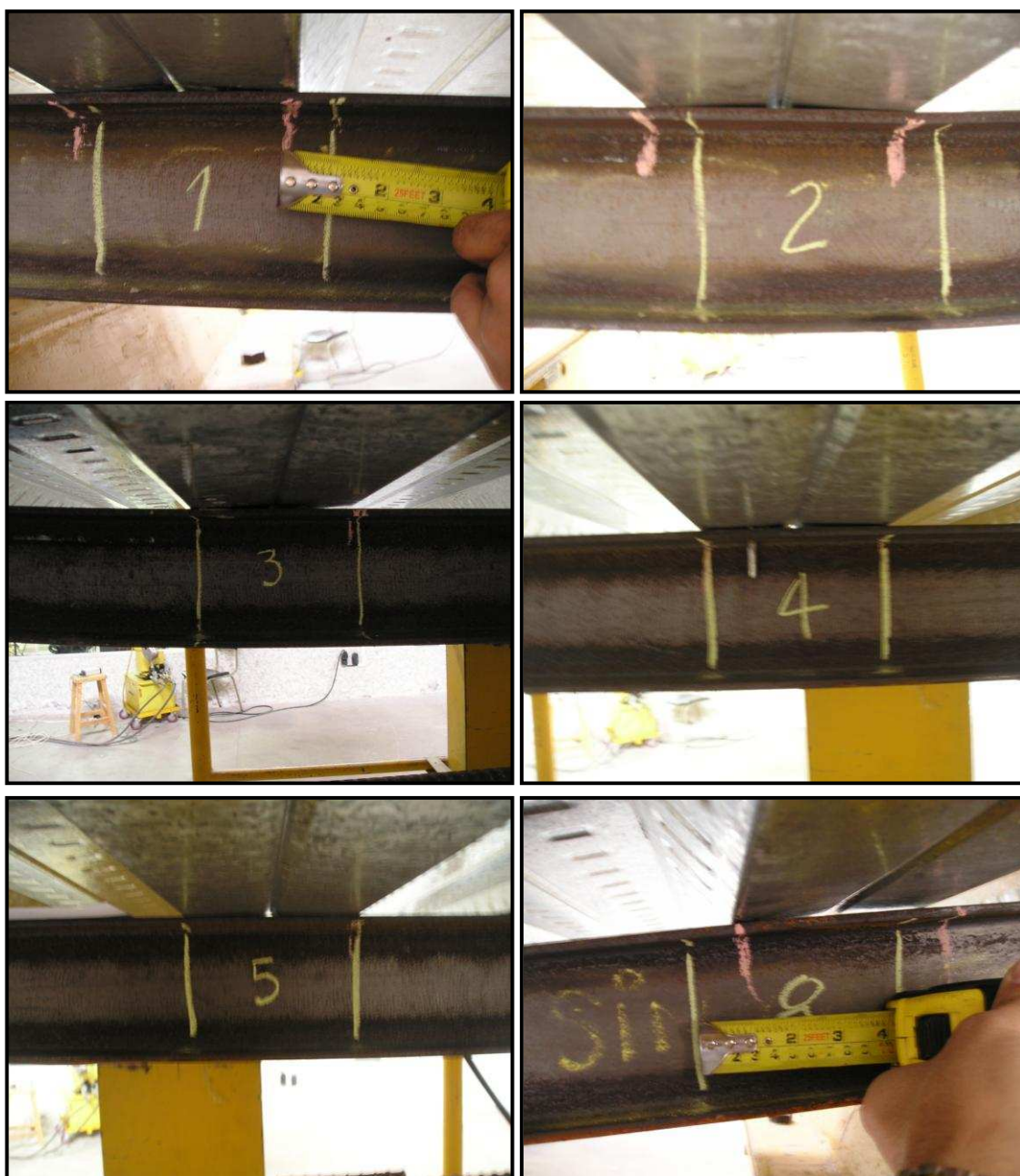




FOTO 4.3. DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DE LOS DISTINTOS VALLES

Como se puede ver en la Foto 4.3 los mayores desplazamientos se dan en los extremos de la viga donde se encuentra aplicada la carga, y el corte es mucho mayor.

4.2.6 RESULTADO FINAL LOSA 1

Una vez aplicada toda la carga que resiste esta sección compuesta se puede identificar de una manera notoria las falencias que se presentan al no poseer conectores de corte. Esto se puede ver a continuación en la Foto 4.4.





FOTO 4.4. RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA

4.3. ENSAYO DE LOSA 2

4.3.1 DESCRIPCIÓN

La segunda losa a ensayar cuenta con conectores de corte que son fabricados con un pedazo de varilla corrugada que comúnmente se encuentra en la gran mayoría de obras por su fácil fabricación e instalación, son los más comunes a colocar en las edificaciones. La estructura de esta sección compuesta (Figura 4.3) está dada por la siguiente descripción.

- **Viga I 100x56.5x4.5 mm:** Acero A36 con una longitud de 3m
- **Malla Electrosoldada:** $f'y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de $\phi 4@10$
- **Mortero de Hormigón:** $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- **Conectores de corte:** Varilla corrugada $\phi 16$ y altura promedio 75mm



FIGURA 4.3. ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA SEGUNDA LOSA

4.3.2 CICLOS DE CARGA

Los ciclos de carga de igual manera para la segunda sección compuesta se los realiza de manera progresiva evidenciando poco a poco su comportamiento y de esta manera poder llevar un registro de todo lo que le sucede a dicha sección. Para este caso en particular se puede observar en el Figura 4.4 que la deformación sufre una baja en un 300% aproximadamente con respecto a la primera losa ensayada.

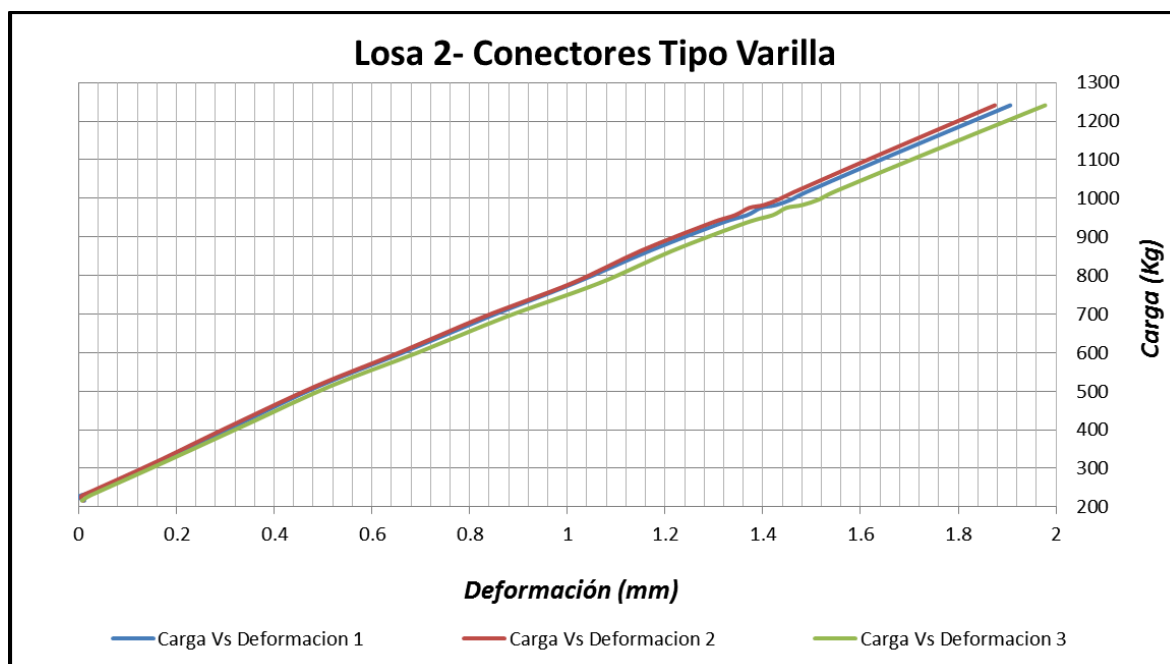


FIGURA 4.4. CARGA VS DEFORMACIÓN
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

4.3.3 PÉRDIDA DE ADHERENCIA

La pérdida de adherencia para este caso es similar con respecto a la losa 1, con la diferencia que se presente un poco mas tardía porque se da en función de la carga aplicada como se muestra en la Foto 4.5 que comienza a desprenderse de la placa colaborante a razón de los 2500 Kg aplicados.



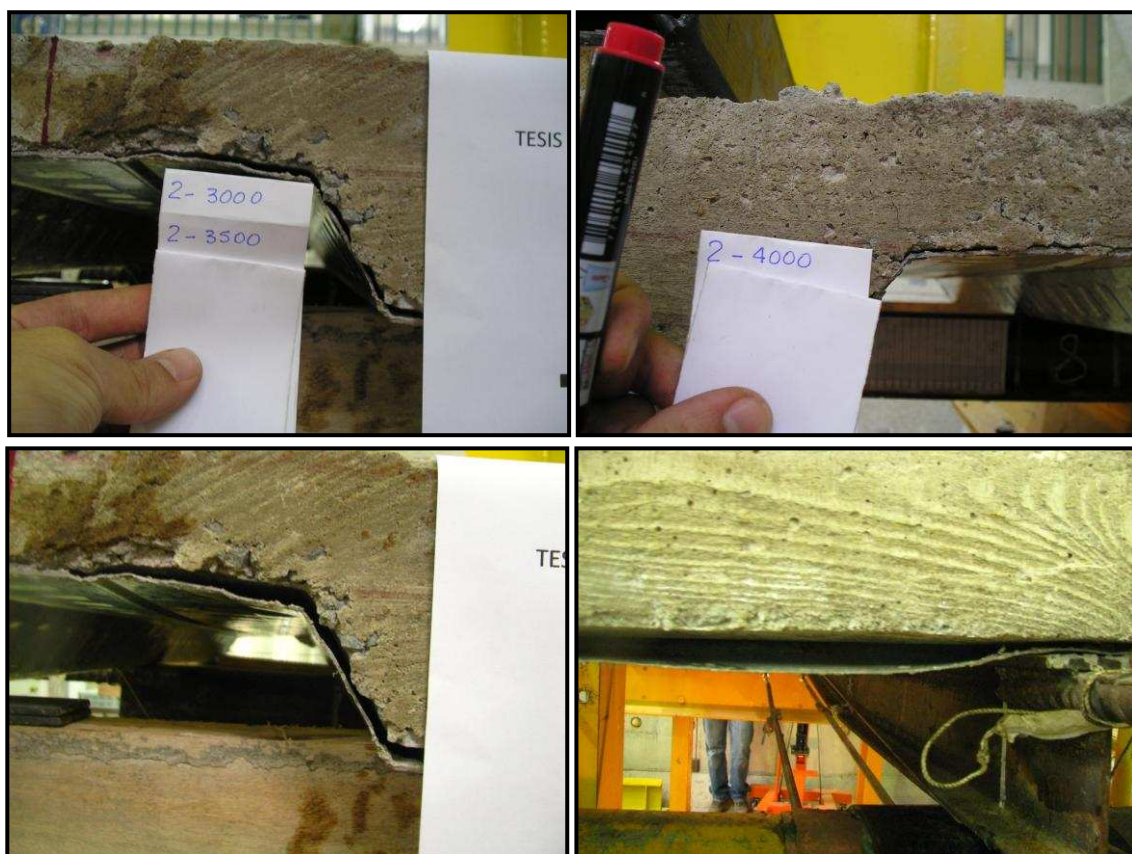


FOTO 4.5. PÉRDIDA DE ADHERENCIA CON RESPECTO AL INCREMENTO DE CARGA

Se puede notar que para este caso donde existe menor desprendimiento de hormigón, ya se encuentran haciendo su trabajo los conectores de corte.

4.3.4 FISURAS EN EL HORMIGÓN

Al igual que en el caso anterior las fisuras en el hormigón se van presentando a medida que la carga se incrementa y como es de conocimiento primero aparecen cercanas al área de aplicación de la misma, como se puede ver en la Foto 4.6.



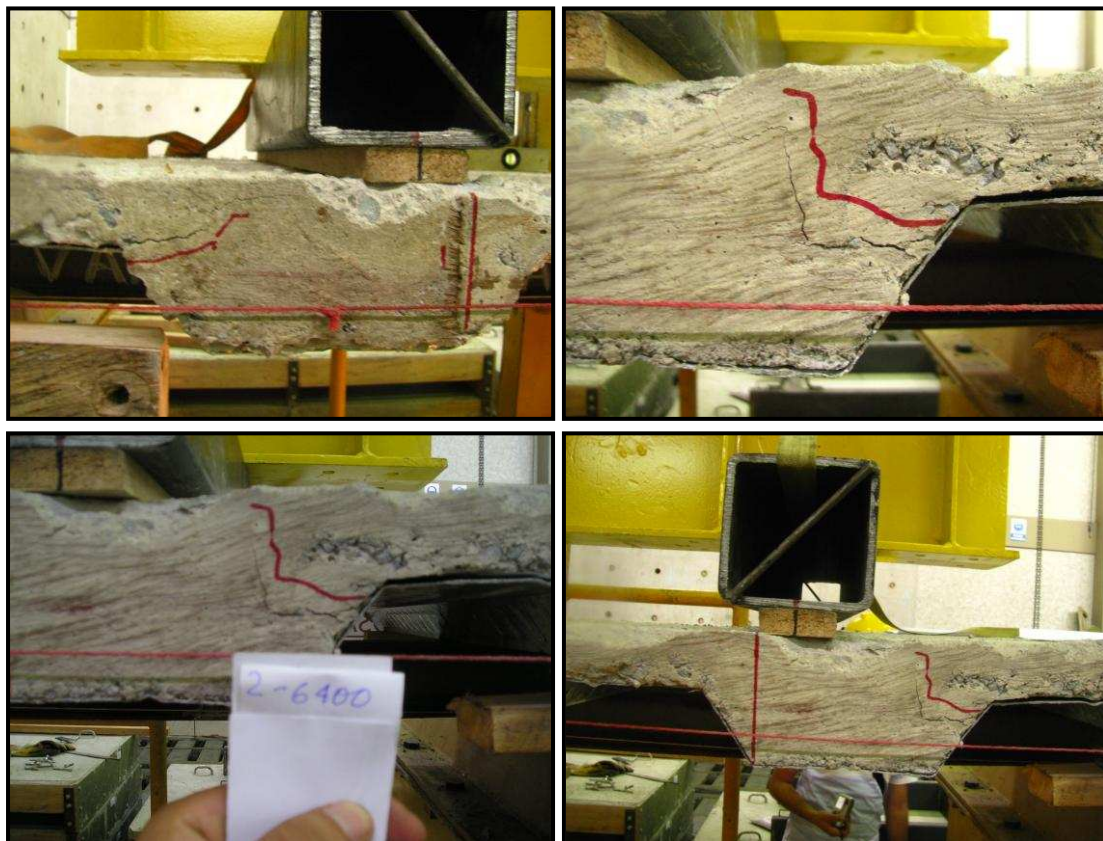


FOTO 4.6. FISURAS PRESENTES EN LA LOSA 2 DURANTE LOS DISTINTOS CICLOS DE CARGA

4.3.5 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK

Los desplazamientos horizontales en este ensayo (Foto 4.7) no se los puede distinguir a simple vista porque no son tan evidentes como en el caso de la primera losa pero se tomará en cuenta para futuras conclusiones y recomendaciones.



FOTO 4.7. VISTA POR DEBAJO DE LA SECCIÓN COMPUESTA DONDE SE EVIDENCIA LA CARENCIA DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES Y SU FIJACIÓN VIGA-DECK

4.3.6 RESULTADO FINAL LOSA 2

En este ensayo se ha visto similares comportamientos con respecto a la primera sección compuesta tal y como se indica en la Foto 4.8 donde se muestra el resultado de la sección una vez finalizada las respectivas aplicaciones de los ciclos de carga.





FOTO 4.8. RESULTADO FINAL UNA VEZ APLICADA TODOS LOS CICLOS DE CARGA.

4.4. ENSAYO DE LOSA 3

4.4.1 DESCRIPCIÓN

La tercera losa a ensayar cuenta con conectores de corte que son fabricados con pedazos de 20 cm promedio de longitud de varilla corrugada los mismos que fueron doblados en laboratorio dándoles la forma de un arco o media luna. La estructura de esta sección compuesta (Figura 4.5) está dada por la siguiente descripción.

- **Viga I 100x56.5x4.5 mm:** Acero A36 con una longitud de 3m
- **Malla Electrosoldada:** $f'y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de $\phi 4@10$
- **Mortero de Hormigón:** $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- **Conectores de corte:** Varilla corrugada $\phi 10$ en forma de arco y altura de cresta 75mm

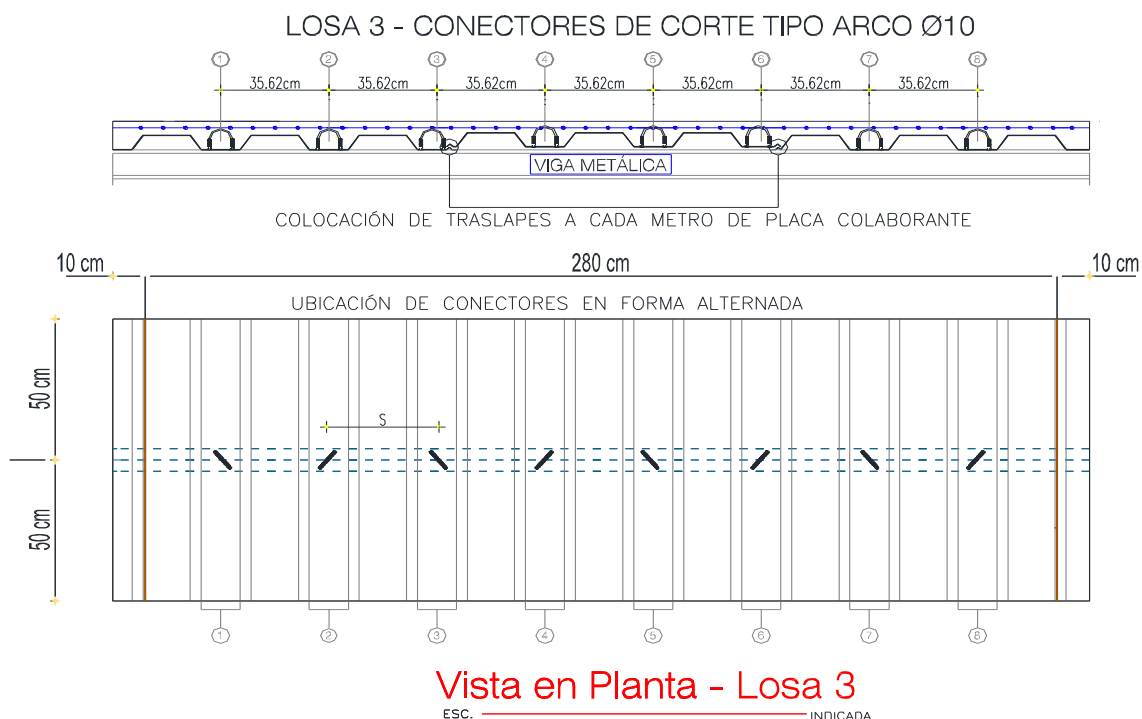


FIGURA 4.5. ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA LOSA 3

4.4.2 CICLOS DE CARGA

En el caso de los ciclos de carga para esta sección compuesta, es similar a los casos anteriores en donde la carga se la va aplicando progresivamente con el mismo fin que es el de registrar todas las novedades que se presenten, en dicho caso partiendo desde el primer ciclo de cargas podemos observar en el Figura 4.6 que la deformación disminuye en un 30% con respecto a la segunda losa y en un 400% con respecto a la primera, dicho dato ya nos brinda inquietudes con respecto a los otros dos sistemas compuestos que serán aclarados en el siguiente capítulo.

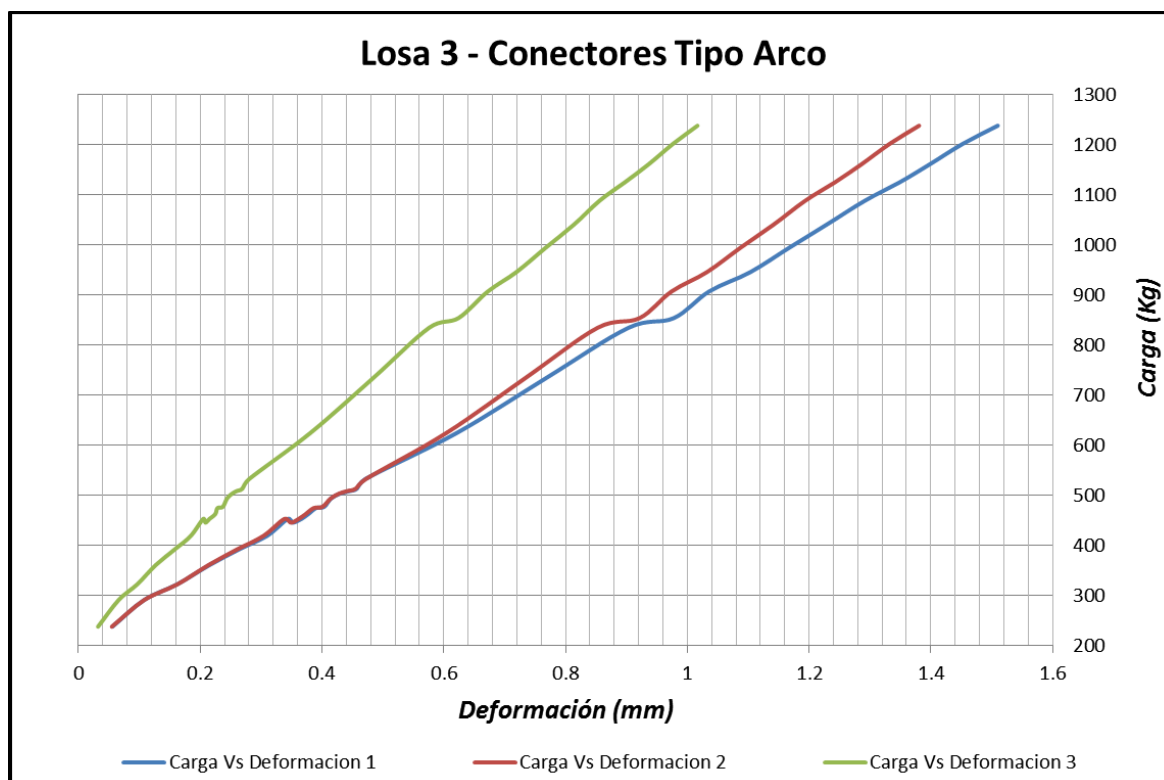


FIGURA 4.6. CARGA VS DEFORMACIÓN
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

4.4.3 PÉRDIDA DE ADHERENCIA

La adherencia en este ensayo correspondiente a la tercera losa cambia drásticamente en comparación a las dos anteriores, en donde se puede observar que el desprendimiento de la placa colaborante es mínimo, lo cual se contempla en la Foto 4.9.



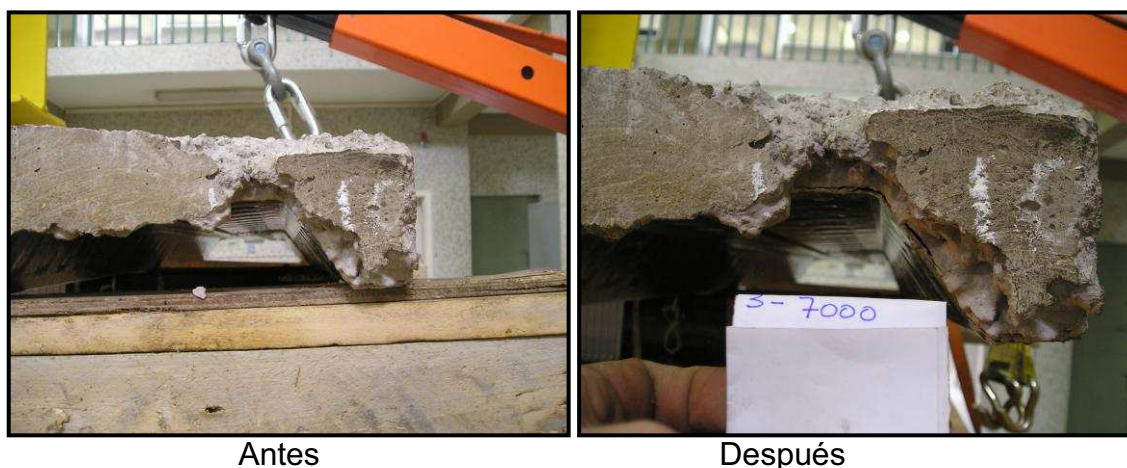


FOTO 4.9. COMPARACIÓN DE ADHERENCIA CON RESPECTO A CARGAS APLICADAS

4.4.4 FISURAS EN EL HORMIGÓN

En este ensayo las fisuras que se presentan son muy leves y aparecen a partir de una carga relativamente alta (6000 Kg) en donde cabe recalcar que el hormigón no sufre gran daño en comparación a los dos casos anteriores, esto se refleja en la Foto 4.10.

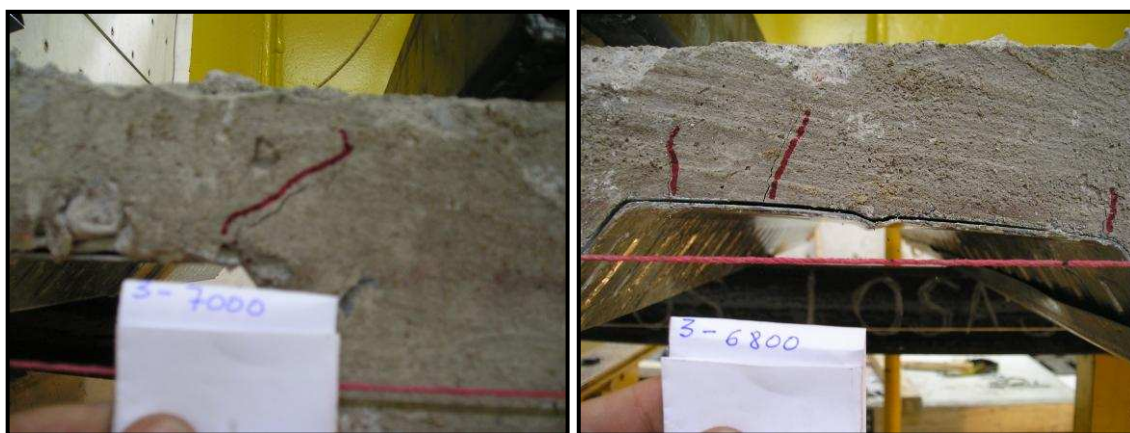


FOTO 4.10. FISURAS QUE SE PRESENTAN EN LA LOSA DE HORMIGÓN.

4.4.5 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK

Como se muestra en la Foto 4.11 no hubo desplazamiento horizontal de la placa colaborante.



Iniciado el Ensayo

Finalizado el Ensayo

FOTO 4.11. MUESTRA QUE EL DECK SE MANTIENE EN LA MISMA POSICIÓN ANTES Y DESPUÉS DE APLICADO LOS CICLOS DE CARGA

4.4.6 RESULTADO FINAL LOSA 3

La carga máxima aplicada en la tercera losa no es muy variante con respecto a la segunda, existe una corta diferencia, pero en relación al daño que sufrieron se puede observar que en la segunda losa el deterioro fue considerable, dicha comparación nos servirá más adelante para sacar las respectivas conclusiones. Las falencias se pueden visualizar en la Foto 4.12





FOTO 4.12. RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA UNA VEZ APLICADA TODOS LOS CICLOS DE CARGA

4.5. ENSAYO DE LOSA 4

4.5.1 DESCRIPCIÓN

Esta última sección compuesta cuenta con conectores tipo UPN debidamente cortados a través de una cortadora sensitiva o tronzadora lo que hace que su utilización en nuestro medio no sea del agrado del constructor por su dificultad de realizar dichos conectores, aparte por su economía saldrían mas costosos que colocar un pedazo de varilla cortando con una simple segueta, pero para nuestro caso se utilizará dichos conectores por motivos de experimentación. Su estructura está compuesta de la siguiente manera (Figura 4.7)

- **Viga I 100x56.5x4.5 mm:** Acero A36 con una longitud de 3m
- **Malla Electrosoldada:** $f'y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ de $\phi 4@10$
- **Mortero de Hormigón:** $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- **Conectores de corte:** Perfiles UPN C80x46x6 y 5 cm de largo

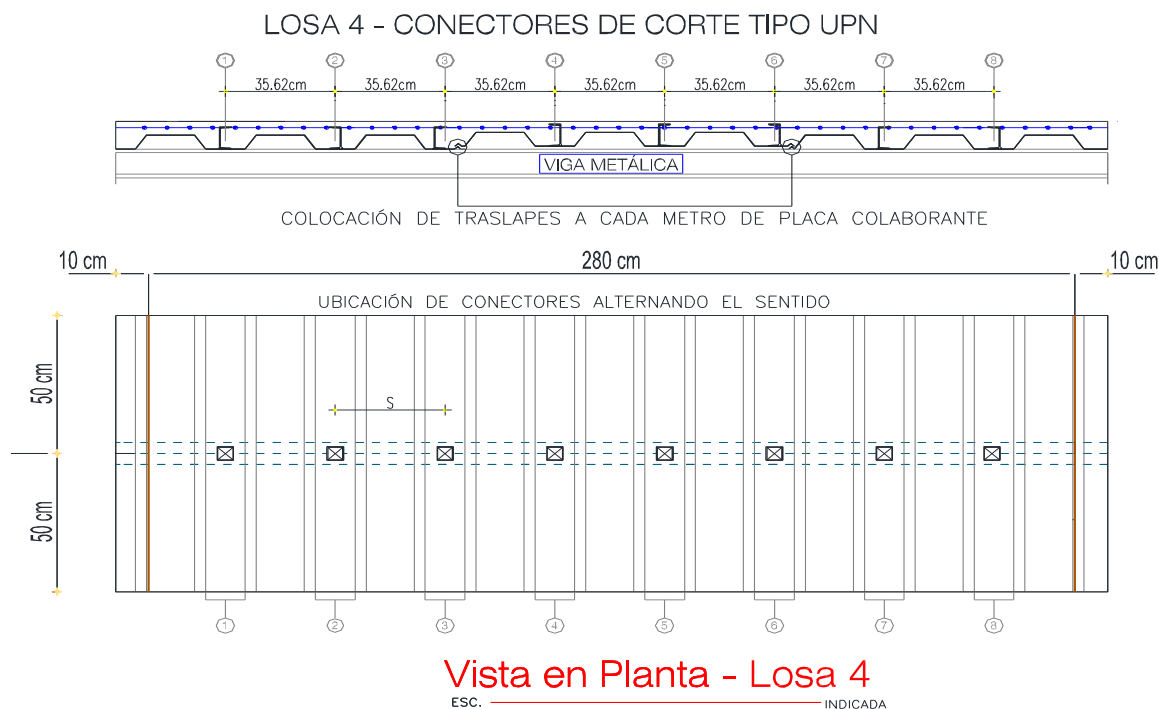


FIGURA 4.7. ESTRUCTURA DE LA SECCIÓN COMPUESTA REFERENTE A LA LOSA 4

4.5.2 CICLOS DE CARGA

Los ciclos de aplicación de carga para todos estos ensayos se los ha estado manejando de igual manera en todos los casos, esto es inyectando cargas al gato hidráulico de una manera progresiva y pausada para así poder llevar el registro de anomalías que se puedan suscitar durante el proceso de ensayo.

Una vez iniciado este proceso se puede notar que en su primer ciclo de cargas se evidencia una disminución de deformación en un 1000% con respecto a la primera sección compuesta (losa 1 sin conectores), seguida de un 300% por la segunda sección compuesta (losa 2 conectores tipo varilla), y un 250% por la tercera sección compuesta (losa 3 conectores tipo arco), dando lugar a una clara diferencia en cuanto a su deformación y comportamiento que más adelante traerá algunas conclusiones muy importantes.

El primer ciclo de cargas se lo muestra en la Figura 4.8

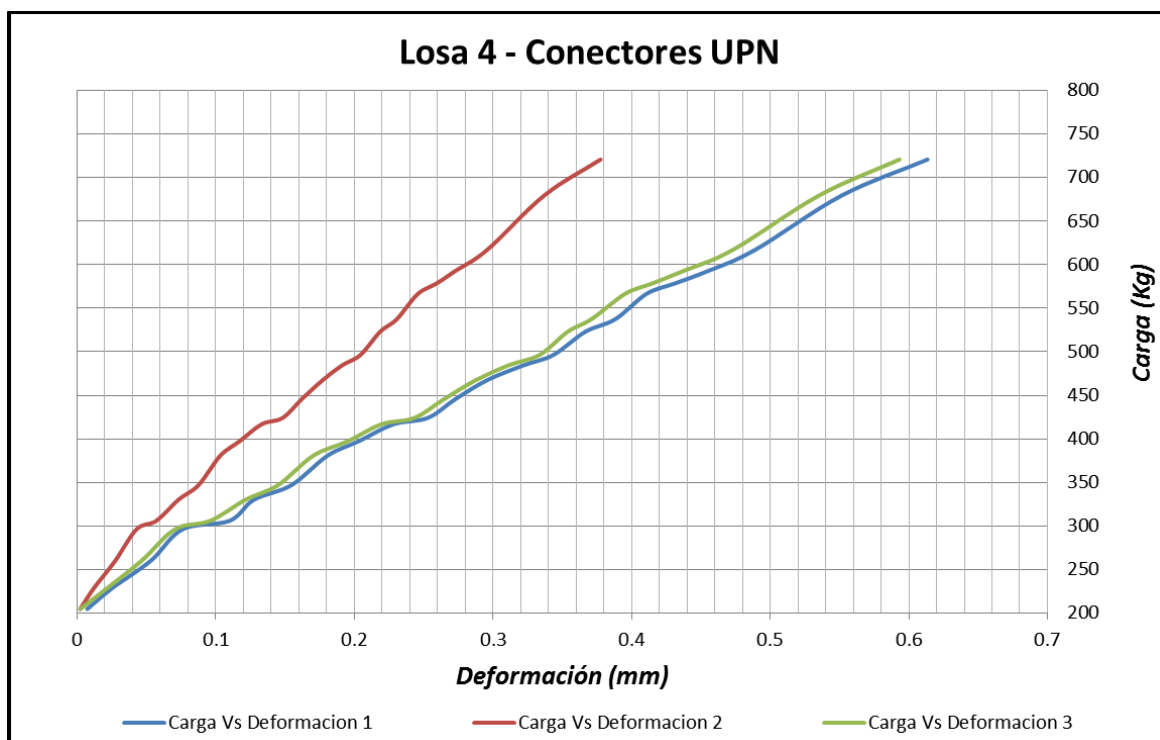


FIGURA 4.8. CARGA VS DEFORMACIÓN
ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

4.5.3 PÉRDIDA DE ADHERENCIA

Para este último ensayo la pérdida de adherencia se encuentra presente, no tan notoria como en los dos primeros casos (losa 1 y 2) pero se la puede evidenciar en la Foto 4.13 tomando en cuenta que aquí las cargas van a ser mucho más altas en comparación con las anteriores.





FOTO 4.13. DESPRENDIMIENTO DE LA PLACA COLABORANTE DURANTE TODO EL PROCESO DE APLICACIÓN DE CICLOS DE CARGA

4.5.4 FISURAS EN EL HORMIGÓN

En este ensayo las fisuras considerablemente importantes que se presentan son a partir de cargas mucho más altas que las aplicadas en los ensayos anteriores pero que igual se las toma muy en cuenta para su posterior análisis. En la Foto 4.14 existe un registro de las partes afectadas.

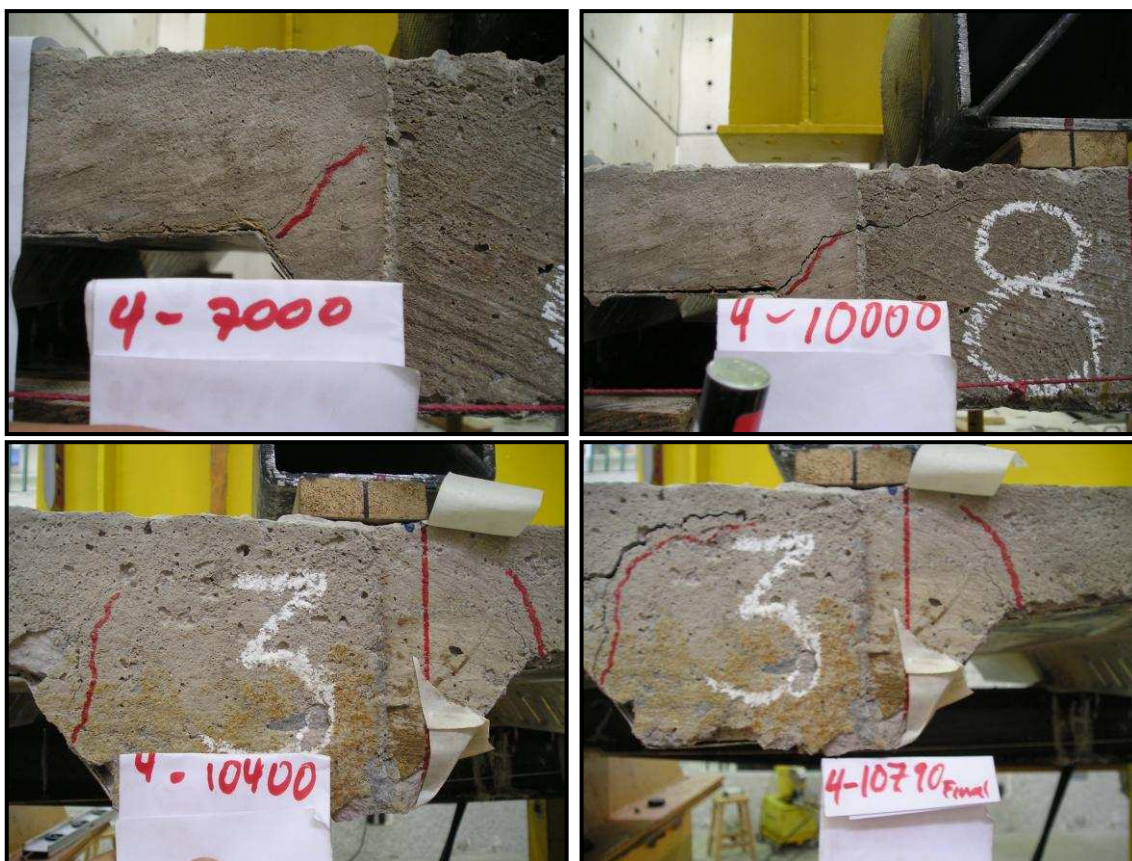
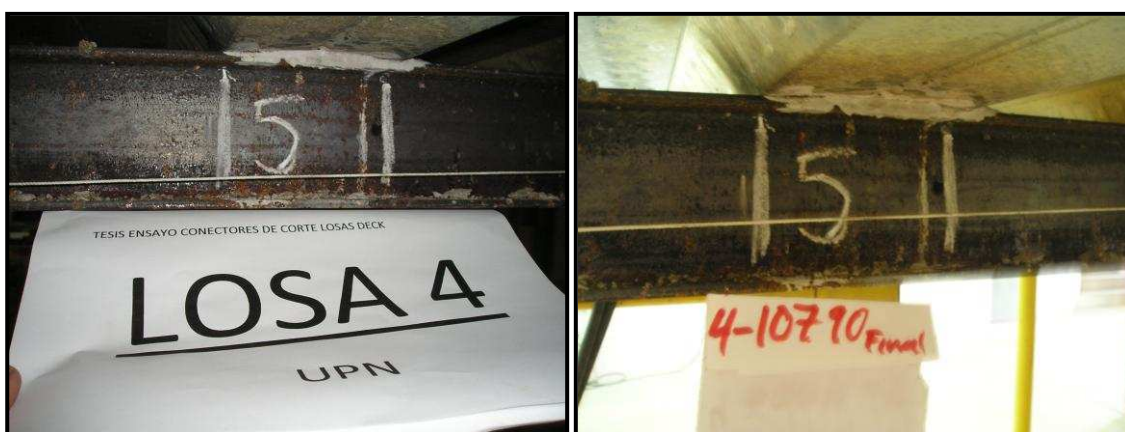


FOTO 4.14. FISURAS PRESENTES EN EL ENSAYO

4.5.5 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL DEL DECK

Como se muestra en la Foto 4.15 no hubo desplazamiento horizontal de la placa colaborante.



Iniciado el Ensayo

Finalizado el Ensayo

FOTO 4.15. MUESTRA AL DECK CON UNA CARENCIA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

4.5.6 RESULTADO FINAL LOSA 4

La cuarta sección compuesta conformada con conectores de corte tipo UPN es la que más carga se le aplicó porque su comportamiento a sido muy eficaz y distinto a las demás secciones como se muestra en la Foto 4.16 donde las cargas superan las 10 toneladas y el sistema trabaja como uno solo, dando a lugar conclusiones muy importantes en cuanto se refiere a la utilización de este tipo de conectores.



FOTO 4.16. RESULTADOS FINALES DE LA SECCIÓN COMPUESTA YA APLICADA TODOS LOS CICLO DE CARGA

4.6. ENSAYO SOBRE EL HORMIGÓN

4.6.1 DESCRIPCIÓN

Después de fundidas las losas se elaboraron 10 cilindros de los cuales 7 estaban destinados para determinar la resistencia a la compresión que fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días, los cuatro siguientes se los probó después de terminar de ensayar todas las losas y los últimos 3 fueron destinados para definir el módulo de elasticidad, dichos resultados correspondientes se encuentran en los anexos.

Las probetas cilíndricas correspondientes tanto a la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón (f'_c) como al módulo de elasticidad se regirán a los procedimientos y recomendaciones de la norma ASTM.

C39: Standard Method of Test for Compressive Strength of Molded Cylindrical Concrete y su similar en el país la Norma INEN 1573:90

4.6.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

Dichas pruebas se las realizaron en el laboratorio de Hormigones de la EPN para lo cual primero se procedió a medir, pesar y marcar las probetas correspondientes para posteriormente realizar el ensayo correspondiente de acuerdo a los procedimientos del laboratorio.

Geometría y peso del cilindro



Rotura de los cilindros



Antes

Después

FOTO 4.17. GEOMETRÍA, MEDICIÓN, PESO Y ROTURA DE LOS CILINDROS

4.6.3 RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESION

En el Cuadro 4.1 se puede observar el resumen de dichos ensayos de acuerdo a la norma ASTM C39/C39M – 05

CUADRO 4.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN CORRESPONDIENTE A LAS LOSAS

No.	FECHA DE FABRICACION	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (Días)	PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
1	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	12-ene-12	7	2,28	200
2	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	19-ene-12	14	2,34	232
3	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	02-feb-12	28	2,29	270
4	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	23-abr-12	109	2,23	280
5	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	23-abr-12	109	2,30	267
6	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	23-abr-12	109	2,26	271
7	05-ene-12	Hormigón f'c=210 Kg/cm ²	23-abr-12	109	2,28	253

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo.

4.6.4 ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

Dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales de la PUCE de acuerdo a la norma ASTM C39/C39M – 05 los resultados se encuentran adjuntos en los anexos.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el CAPÍTULO 2 se predijo teóricamente los posibles resultados que se obtendrían en los ensayos de laboratorio. Esta predicción plantea dos panoramas en los que podría fallar el prototipo. El primer panorama es el más pesimista haciendo cuenta que la viga metálica tipo I y la losa sobre la plancha Deck no trabajan en conjunto, esto quiere decir que cada uno de estos elementos se valdría por sí sólo para resistir las cargas y a su vez la conexión entre los dos fuera ineficiente o nula. En el segundo panorama en cambio se plantea que todos los elementos trabajan en conjunto y apoyándose entre si.

Los cálculos ponen como referencia en la comparación entre ensayos la carga total P total registrada por el pistón hidráulico en el laboratorio más el peso de los elementos soportantes. Debido a que en el laboratorio se obtienen datos de carga y de deformación, el otro resultado con el que se puede comparar los ensayos con el modelo teórico es el módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad se obtiene de la deducción teórica de la deformación de la viga simplemente apoyada, ya que la fórmula depende entre otras cosas de la disposición, magnitud de las cargas y rigidez (Inercia por módulo de elasticidad), se puede deducir de esta forma un módulo de elasticidad con el que se pueden comparar los resultados teóricos con los prácticos.

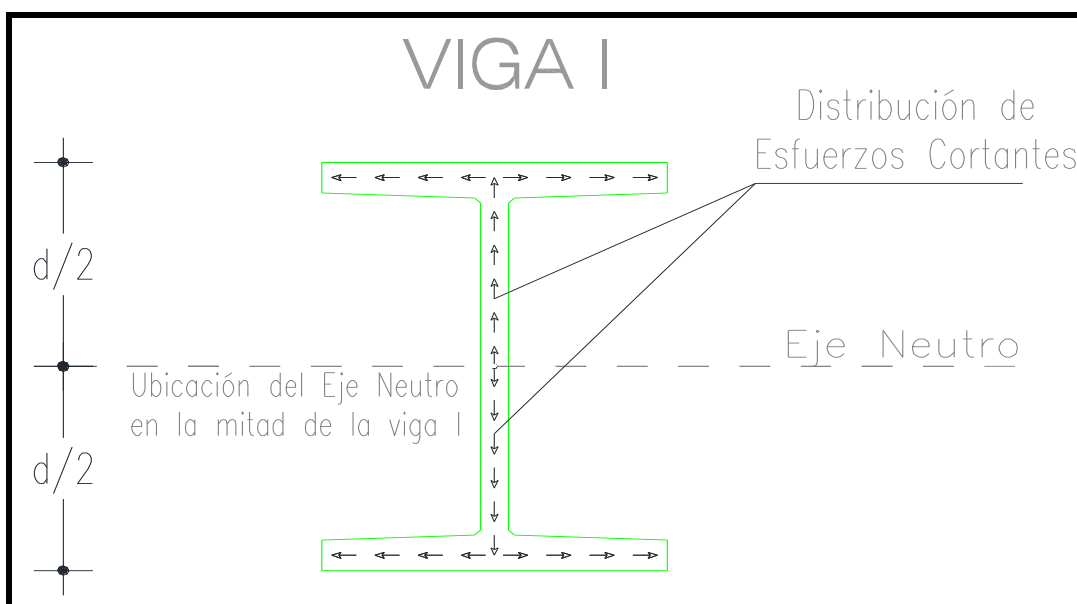
Aparte de utilizar estos datos comparativos se establecieron puntos en la carga P aplicada para los cuales los datos mostrarían un cambio en el comportamiento del prototipo. En el Cuadro 5.1 se muestra la carga a la que el prototipo dejó de funcionar, aclarando que la losa no admite un incremento considerable en la carga pero se sigue deformando. En la Figura 5.1 se puede notar esta modificación de comportamiento porque hay un cambio notable en la inclinación de la línea esfuerzo deformación.

CUADRO 5.1. CARGA FINAL PARA CADA LOSA.

	P final para cada Losa (kg)			
	Losa 1	Losa 2	Losa 3	Losa 4
	Sin Conectores	Varillas	Arcos	UPN
P Teórica	7280	9300	7180	61780
P Ensayo	6500	6660	7464	11000

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

El flujo de corte en una sección se distribuye a partir del eje neutro como se muestra en la Figura 5.1. Para una viga I por ejemplo los esfuerzos cortantes iniciarían en el centro del alma y se distribuiría uniformemente hacia las alas. Las flechas nos indican la dirección que sigue el flujo de corte a través de la sección.

**FIGURA 5.1. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA VIGA I**

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

La distribución de esfuerzos en la sección compuesta cambia totalmente su comportamiento ya que el eje neutro se traslada hacia el hormigón, obligando así a que los esfuerzos cortantes sean transmitidos a través de los conectores de corte a lo largo de la viga I distribuyéndose por toda su alma y a las fibras más externas de sus patines.

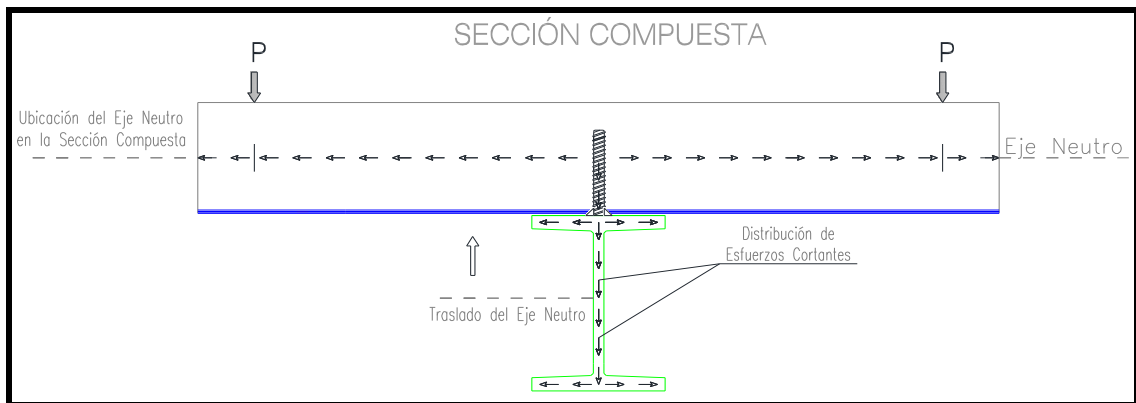


FIGURA 5.2. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

La variación de resultados entre una y otra losa dependen según lo antes dicho de la capacidad de los conectores de transmitir el esfuerzo cortante a través de la sección compuesta. El diagrama de esfuerzos cortantes en la sección compuesta se muestra en la Figura 5.3. Los valores que se muestran en el diagrama no tienen relación con alguno de los resultados y su única intención es el contrastar las magnitudes de los resultados en los diferentes puntos de la sección. Este diagrama tiene su importancia en demostrar como se distribuyen los esfuerzos cortantes mientras se mantenga la sección compuesta. Se resalta que el perfil I es el que absorbe la mayor cantidad de cortante. Si los conectores de corte fallan de alguna manera la distribución de los valores de cortante en la sección se cargan individualmente al perfil I y a la Losa Deck por separado.

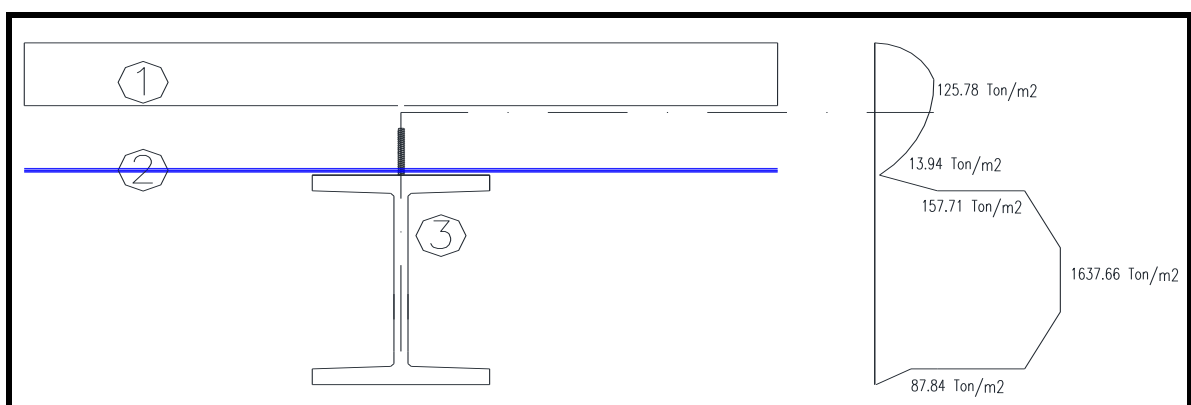


FIGURA 5.3. DIAGRAMA DE ESFUERZOS EN LA SECCIÓN COMPUESTA

ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo

5.1. ANÁLISIS ESFUERZO DEFORMACIÓN

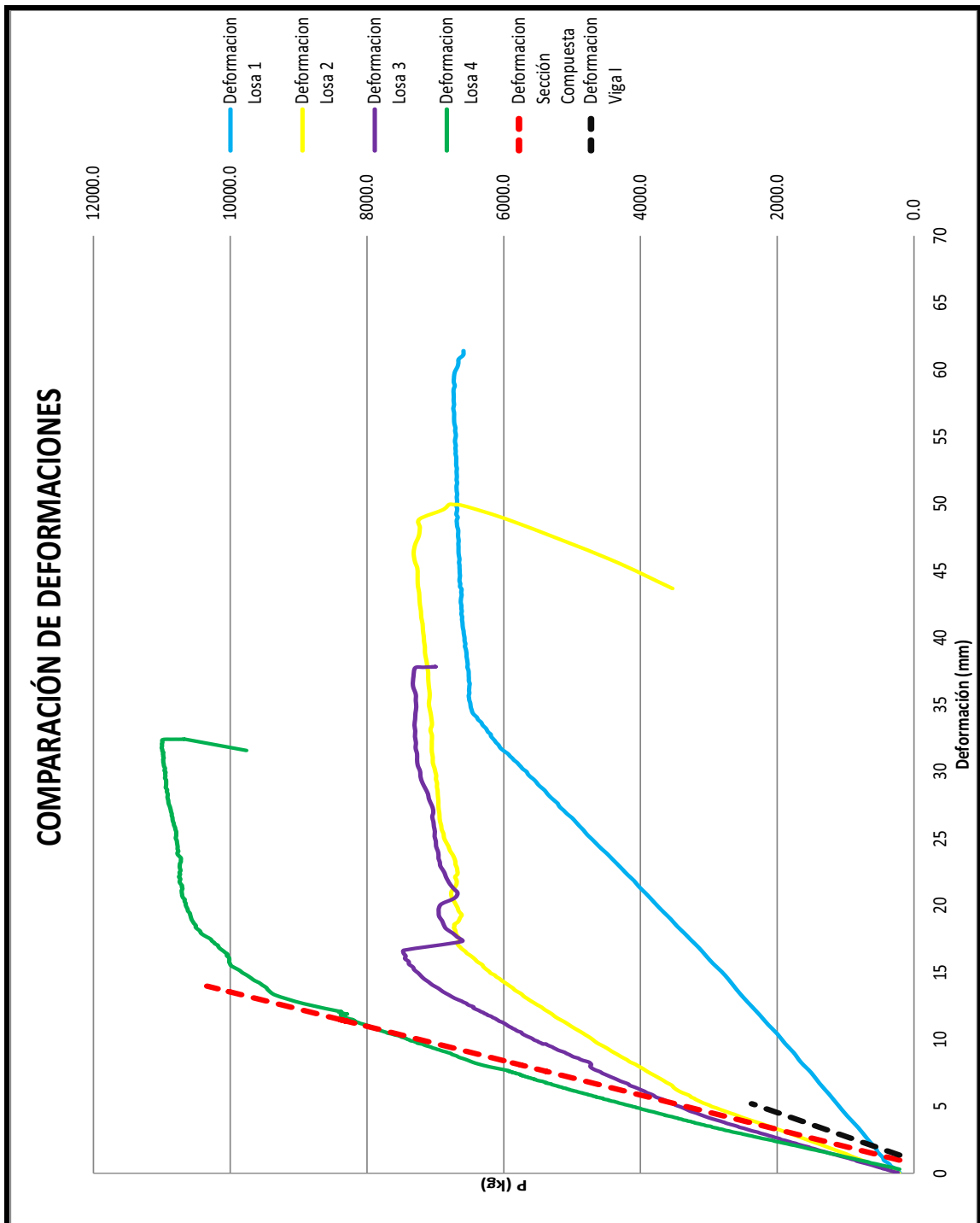
En el Cuadro 5.1 podemos observar que las cargas del ensayo no llegan a fracturar los conectores de corte. Si retrocedemos al CAPÍTULO 2 para ver de donde se originó esta carga P teórica sabemos que fue calculada tomando en cuenta el trabajo de toda la sección compuesta a favor del conector de corte. Esto quiere decir que no llegó a trabajar toda la sección compuesta como un solo elemento y es por la misma razón que se llegó más rápido a una carga de falla por flexión.

Calculando el prototipo como sección compuesta se obtuvo que falla por flexión a los 5160 kg de la carga P . Con este resultado sabemos que solo la Losa 4 alcanzó y supero ligeramente la falla teórica por flexión queriendo decir que solo esta actuó como sección compuesta durante todo el ensayo.

En el Figura 5.4 se encuentran combinados todos los esquemas de cada ensayo, comparados conjuntamente con los gráficos de las predicciones teóricas, en los cuales se puede resaltar dos líneas entre cortadas de color rojo y negro las que para su cálculo se utilizó la rigidez de la sección compuesta para el un caso y la rigidez de la viga para el otro pero considerando que el límite superior de este gráfico es la falla por flexión.

Se combinó los gráficos de esfuerzo deformación en uno solo para que se pueda comparar las losas con los dos extremos posibles que se podían suscitar según los cálculos teóricos. En el mejor de los casos las losas se comportarían como una sección compuesta haciendo fallar a los conectores de corte. En el otro extremo actúa solo la viga metálica resistiendo las cargas sin la ayuda de la losa Deck, en cuyo caso llegaría a los límites posibles de la viga I , mucho menores a las de una sección compuesta.

FIGURA 5.4. COMPARACIÓN ENTRE DEFORMACIONES.



ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo.

Comparando los gráficos esfuerzo deformación en la Figura 5.4 sabemos que las losas trabajaron más y mejor que una viga I pero de la losa 1 a la 3 no llegaron con toda la capacidad de una sección compuesta. Solo la losa 4 llegó al comportamiento que se esperaba trabajando como un solo sistema y

resistiendo cargas mucho mayores a las aplicadas a las losas antes mencionadas.

En comparación este límite en la resistencia se ve disminuido entre un 28 y un 37% de la capacidad que tiene una sección compuesta.

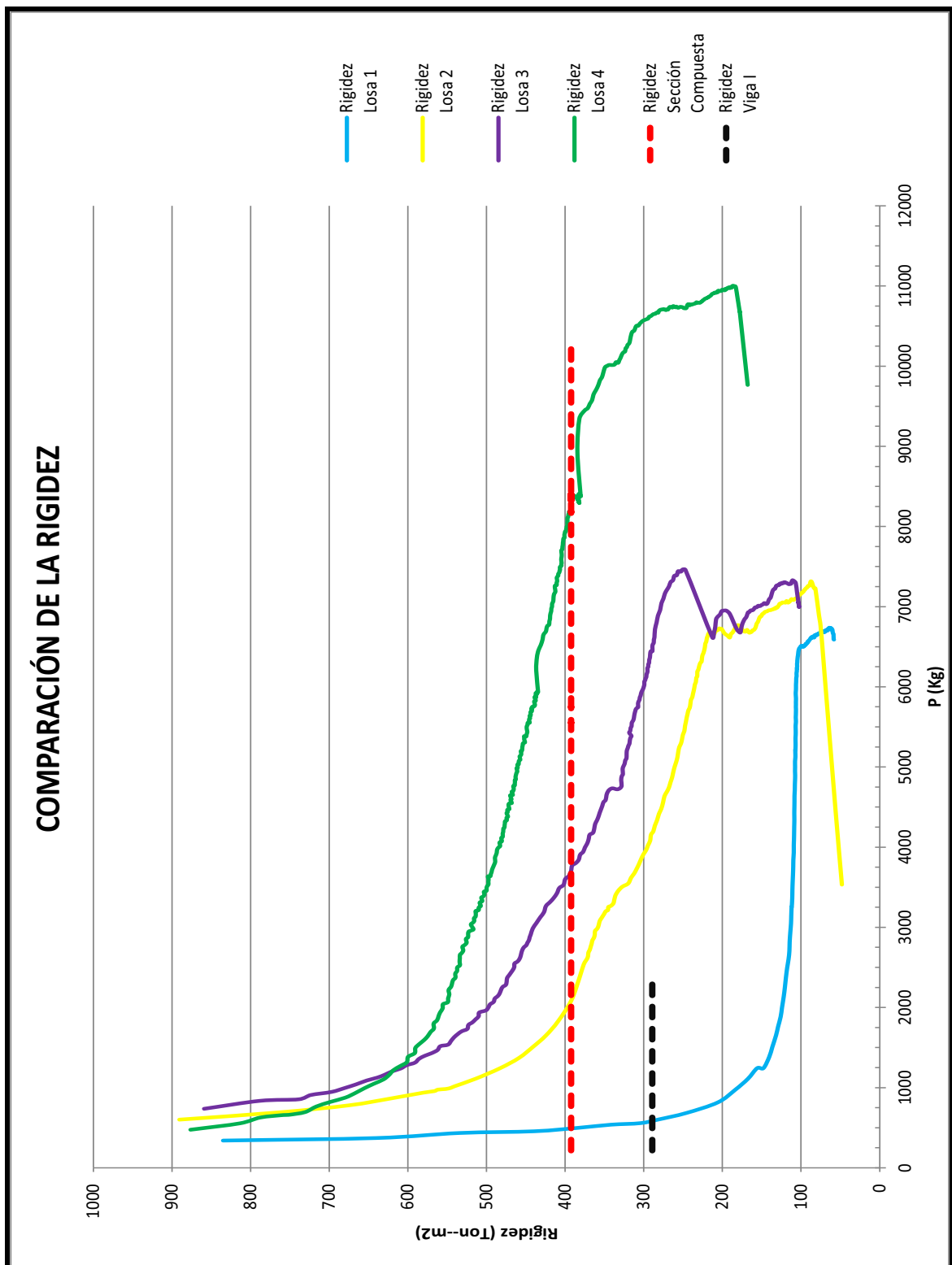
5.2. ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ

En otro análisis tenemos la rigidez del sistema compuesto que se refleja en la pendiente de las curvas esfuerzo deformación. En la Figura 5.5 se incluye un análisis separando la rigidez obtenida para cada ensayo. La rigidez que aquí se grafica proviene de la utilización de la fórmula de deformación del sistema de viga simplemente apoyada que se plantea en el Capítulo 2.3. Esta deformación utiliza las distancias a la que se colocó las cargas y los apoyos en el ensayo añadiendo los datos de carga y de deformación que se obtuvieron en la experimentación. De esta ecuación de deformación se obtuvo la tendencia de la rigidez graficada en la Figura 5.5.

También se incluyó entre los gráficos los valores de rigidez teóricos para tener rangos comparativos en los que trabajaron las losas del ensayo. La primera rigidez es la de la sección compuesta, esta rigidez es la obtenida al final del CAPÍTULO 2. Esta rigidez de la sección compuesta (línea entre cortada roja) tiene un valor de $392.42 \text{ ton}\cdot\text{m}^2$ y es calculada con la sumatoria de la rigidez de cada uno de los elementos que forman parte de la sección. La losas prototipo en el caso de que se comporten como secciones compuestas deben estar cerca de este valor. La segunda rigidez teórica es la rigidez de la viga metálica tipo I (línea entre cortada negra) actuando por si sola. Esta rigidez tiene un valor de $289.21 \text{ ton}\cdot\text{m}^2$ y los datos de los ensayos se acercarán a este valor en el caso de que no actúen como secciones compuestas y que la viga este soportando por si sola la carga.

La gráfica esquematizada en la Figura 5.5 nos ayuda a visualizar en que puntos los conectores de corte se separaron de la losa de hormigón, los mismos que se manifiestan en cambios abruptos en el valor de la rigidez.

FIGURA 5.5. COMPARACIÓN DE LA RIGIDEZ.



ELABORADO POR: Paúl Galán y David Jaramillo.

El gráfico nos demuestra que la Losa 1 adquiere una rigidez muy por debajo de las demás, incluso más baja que la rigidez de la viga I. Esto significa que la primera losa utilizó una rigidez propia de la Losa Deck dejando a un lado la

colaboración de la viga I. El actuar con una rigidez mucho menor a la esperada produce una deformación excesiva de todo el conjunto y a pesar de que su límite de carga es similar al de la Losa 2 y 3 esta se deforma mucho más.

Se puede observar también que al comienzo del ensayo las Losas 2, 3 y 4 se comportan más como una sección compuesta pero al aproximarse al final estas se acercan más a la rigidez de una viga metálica. Lo que es de esperarse es que todas las losas al llegar al final del ensayo tuvieron cambios bruscos en su rigidez disminuyéndola.

De nuevo la losa que más se aproxima a un comportamiento como sección compuesta es la Losa 4 ya que es la que más se acerca al valor de rigidez de 392.42 Tm^2 .

5.3. CONSIDERACIÓN DEL AGRIETAMIENTO DEL HORMIGÓN

Durante el análisis de la sección compuesta en el Capítulo 2 se utilizó un Módulo de elasticidad del hormigón fijo para todo el ensayo. Este postulado en la práctica no es totalmente cierto ya que el hormigón durante la aplicación de cargas se sigue agrietando lo que hace que su módulo de elasticidad disminuya. El agrietamiento del hormigón se ve reflejado en los resultados de los ensayos, las curvas de la gráfica de la comparación de la rigidez deben su forma a que en el inicio del ensayo el hormigón está menos agrietado que en el resto del ensayo. El agrietamiento es una de las razones por la que la rigidez de cada una de las losas no se representa con una línea recta en la gráfica es decir que no tiene un valor fijo como se asumió en la teoría.

Esta consideración implica que cuando se calcularon los datos de la rigidez de la sección compuesta en el Capítulo 2, utilizando un factor de cambio del ancho de sección que se obtiene dividiendo el Módulo de elasticidad del Hormigón para el del Acero se debió considerar el agrietamiento del hormigón. Al

disminuir el E_c disminuyó el factor de modificación de la sección y esto termina disminuyendo la rigidez de la sección. Puesto que el cambio de rigidez de la sección debido al agrietamiento es un tanto impredecible lo conveniente sería multiplicar por varios factores distintos del módulo de elasticidad para que modifiquen la rigidez al paso del tiempo.

La misma manera en que se analizó en el capítulo 2.3.7 de la Rigidez del Sistema Compuesto es conveniente analizar con un cambio en el valor de E_1 o E_c . En una primera instancia el módulo de elasticidad del hormigón se mantiene en los cálculos como sigue:

$$\left[\begin{array}{l} E_1 = E_{\text{hormigon}} = 2274860 \text{ Ton} / m^2 \\ E_2 = E_{\text{deck}} = 21000000 \text{ Ton} / m^2 \\ E_3 = E_{\text{viga}} = 20430000 \text{ Ton} / m^2 \end{array} \right.$$

$$n_1 = \frac{E_1}{E_3}$$

$$n_1 = \frac{2274860}{20430000}$$

$$n_1 = 0.111349$$

Para un segundo punto en el tiempo de aplicada la carga al módulo del hormigón se le aplicaría por ejemplo un factor de reducción de 0.6 y para un tercer punto el factor de reducción sería de 0.3.

$$E_{\text{hormigon } 2} = 0.6 * 2274860 \text{ Ton} / m^2 = 1364916 \text{ Ton} / m^2$$

$$E_{\text{hormigon } 3} = 0.3 * 2274860 \text{ Ton} / m^2 = 682458 \text{ Ton} / m^2$$

$$n_{1.2} = \frac{E_{1.2}}{E_3} = 0.0668094$$

$$n_{1.3} = \frac{E_{1.3}}{E_3} = 0.0334047$$

Si cambia el módulo del hormigón cambia también el factor de reducción n y la rigidez final del sistema compuesto. En la Figura 5.6 se puede observar la

sección modificada por el factor n , el mismo que cambia a medida que se aplica la carga y se agrieta el hormigón.

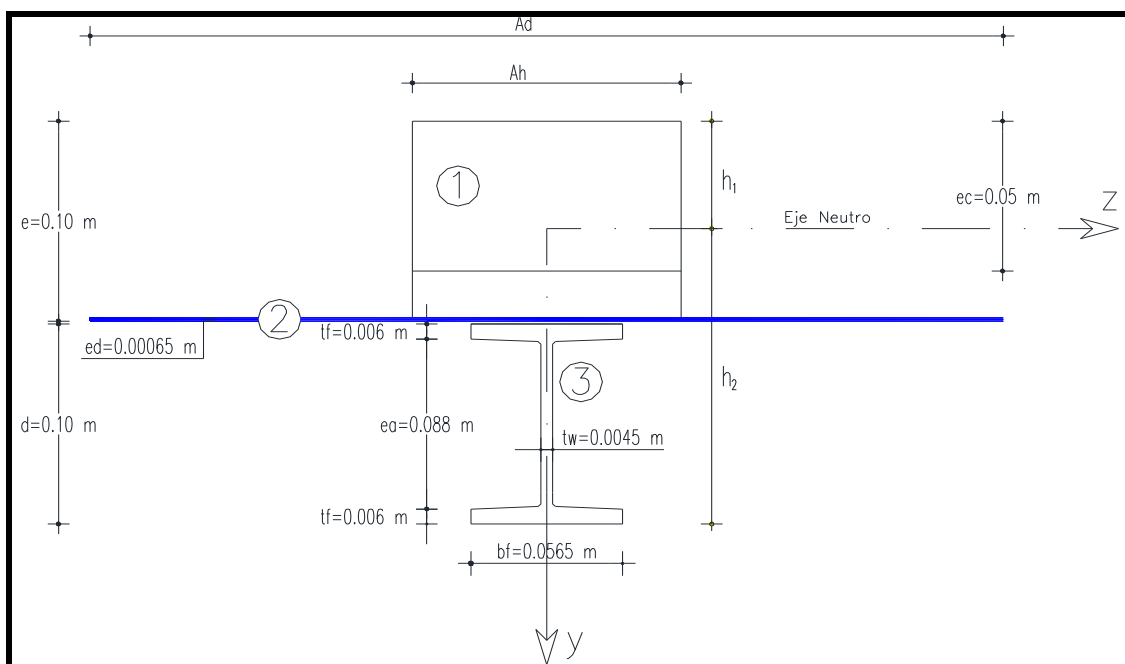


FIGURA 5.6. SECCIÓN COMPUESTA MODIFICADA POR EL FACTOR N

La consideración hecha por el agrietamiento del hormigón nos permite entender de mejor manera el comportamiento de las losas durante el ensayo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- El proyecto presentado en este documento es el comienzo del afianzamiento de este sistema constructivo de Losas Deck en el Ecuador. A pesar de que este tipo de losas ya se han venido utilizando hace varios años atrás, no existe en la normativa ecuatoriana un documento que enmarque este tipo de construcciones dentro de una racionalización en la actividad constructiva de tal forma que guíe al constructor en su cometido. Es de necesidad entonces que se planteen requisitos generales de diseño con este sistema constructivo. Para la aplicación de un código de construcción con el sistema de Losas Deck no solo es necesaria una parte reglamentaria que establezca normas de conducta, sino también una parte que explique con sustento científico y técnico los planteamientos asentados en esta normativa. Este proyecto de titulación vendría a ser parte del sustento científico y técnico que explique los albores de una normativa de diseño.
- Junto con el sistema constructivo vienen una serie de elementos que resuelven todas las necesidades que se presentan en las obras civiles. Estos elementos tales como: los perfiles de canto, detalles constructivos de cañerías, alambrado eléctrico, orificios de luz entre otros también necesitan de una normativa que los regente. A medida que este sistema constructivo se generalice en la construcción se necesitará de parte de los proveedores del sistema de losas Steel Deck mayor información y abastecimiento de estos elementos que son inherentes a la construcción de losas.
- Uno de los problemas que se tuvieron durante la concepción y construcción de estos ensayos fue el mantener la losa en equilibrio sobre la viga. La losa presentó un desequilibrio a los costados paralelos a la viga, que si bien es cierto no influyó en los resultados de los

ensayos, si causó dificultades el momento del ensamblaje y el transporte. Se debió apoyar de alguna manera a los lados de la losa al momento de la fundición. De igual manera para el izaje y transporte de las losas se debió realizar algunas ataduras extras para no introducir esfuerzos a la losa previos al ensayo.

- En la construcción de las losas se evidenció un problema propio de este sistema constructivo. El problema radica en que el Deck como encofrado es más sensible a daños y cambios de forma que un encofrado normal. El panel metálico al tener corrugados en toda su dimensión se vuelve vulnerable por la aplicación de cargas puntuales producidas durante el ensamblaje de todo el sistema constructivo. El hecho de que se deforme hace que su inercia y en general la distribución del hormigón y metal cambie. Esto conlleva a que se requiera también de un manual de construcción y manejo del sistema de Losas Deck.
- Una de las razones del porqué la diferencia entre los datos obtenidos teóricamente y los resultados experimentales, se debe a las limitaciones propias a las teorías de resistencia de materiales y en especial de la ley de Hook que habla de un módulo de elasticidad obtenido para los materiales en el rango elástico. Al tener nosotros una combinación de diferentes elementos que conforman nuestra sección compuesta es difícil hablar de un comportamiento lineal en el rango elástico. También se debe tomar en cuenta que nuestra sección compuesta resultante de unir viga, panel metálico, conectores de corte, malla electrosoldada y hormigón no se la puede tomar como un solo material homogéneo e isótropo porque esto causa conflictos con ciertos cálculos de la resistencia de materiales.
- Los beneficios que se evidenció de este sistema constructivo son entre otros: el peso final de la losa que es bastante más liviano que un sistema de losas nervadas, la facilidad y la rapidez de construcción, bajo desperdicio de materiales y que en caso de falla de la losa de hormigón no se evidenciaron desprendimientos de hormigón que en un edificio podría arriesgar la vida de las personas.

- En el Capítulo 2 se calcularon esfuerzos cortantes en el Deck, aquí se obtuvo valores mayores cuando solo actúa la losa Deck. La explicación de esto se debe a que la inercia varía en un 55% pero el momento de inercia solo varía un 37% ya que la altura aumenta casi el doble ayudando a la inercia pero no aumenta mayormente el área que ayuda al momento estático. De este análisis de esfuerzos cortante en el Cuadro 2.5 se puede decir que los valores obtenidos entre la sección compuesta y la Losa Deck no son comparables con los obtenidos con el perfil ya que el esfuerzo cortante es obtenido en otro punto de la sección.
- Combinando la Losa Deck con la viga se obtienen valores de resistencia a la flexión mucho mayores que tomando en cuenta estos elementos por separado. La resistencia a la flexión no solo se suma si no que se multiplica haciendo evidenciar que esta es una relación no lineal. Los beneficios que trae el calcular una sección compuesta combinando todos los elementos es que las secciones se reducen y existe un ahorro considerable en la estructura.
- Cuando se examinaron las losas después de los ensayos se notó que los conectores de corte no fallaron excepto por un par de ellos que se evidenció tenían un problema de mala soldadura. Esto quiere decir que los cambios que tuvieron las losas de una sección compuesta a una sección que trabajaba por separado fueron producto de que el hormigón se desprendió internamente de los conectores mas no quiere decir que los conectores de corte se desprendieron de la viga.
- El periodo de un edificio se ve influenciado en su mayoría por los elementos verticales como las columnas y los diafragmas, sin embargo no es descartable la rigidez de la losa que es un elemento horizontal. Ya que después de haber realizado los ensayos se notó la dependencia de los conectores de corte en la rigidez de la losa, entonces no podemos descartar la ayuda que estos brindan al comportamiento total de la estructura.

6.2.RECOMENDACIONES

- El dejar libre el un apoyo para que tenga rotación ayuda a que la carga y los esfuerzos generados en el ensayo no sean absorbidos por el apoyo.
- Se debe buscar la exactitud en la alineación de los ejes al momento de aplicar la carga. El no hacer esto puede traer repercusiones en la obtención de datos y hace que los cálculos teóricos se alejen aun más de los obtenidos en los ensayos.
- Las tablas de ayuda para cálculo que son entregadas por los proveedores de este sistema constructivo necesitan ser utilizadas con cuidado ya que según nuestros resultados los límites permisibles de carga se pueden ver disminuidos considerablemente según el conector de corte que se utilice. Las tablas de cálculo no hacen aclaraciones al respecto, lo que puede traer consecuencias graves sobretodo en la afectación de un sismo en donde todos los esfuerzos se aumentan y se lleva al límite a los materiales.
- El montaje de este sistema de losas es crítico ya que antes de la fundición del hormigón los materiales son bastante susceptibles a que se doblen, rompan o cambien de forma. Por esto es necesario sujetarse a las recomendaciones de montaje que da el Steel Deck Institute.
- Para una mayor precisión y aproximación a los datos obtenidos en el laboratorio se recomienda incluir en el cálculo a la malla electrosoldada y a los chaflanes de la sección de la viga I.
- Se recomienda continuar con los ensayos de este tipo con diferentes conectores de corte y con este sistema de losas ya que más allá de sus beneficios existen varios vacíos que hay que llenar que se producen al habituarse este sistema a nuestro medio. El adecuar este sistema constructivo a nuestro medio implica en adaptar nuestros materiales, nuestras herramientas, la mano de obra y la mentalidad a un sistema constructivo diferente, que tiene sus propias exigencias. Aspectos como los conectores de corte que no siempre se los utiliza o se los aplica de manera errónea, el tipo de hormigón que muchas veces no alcanza los

requerimientos mínimos y el cuidado que se debe tener al construir son algunos ejemplos de la adaptación que debe sufrir nuestro método constructivo para adaptarse a este nuevo sistema que ya se encuentra bastante difundido en nuestro medio.

- Es necesario realizar una investigación más profunda en lo referente al comportamiento y tipo de conectores de corte en la losa dependiendo de su rigidez, superficie de contacto con el hormigón, y superficie de soldadura. Estas pueden ser las razones que predeterminan el funcionamiento y capacidad de la losa en el momento de su ensayo dado por los distintos conectores de corte que se usó.

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Institute of Steel Construction Inc. (s.f.)(1994). STEEL CONSTRUCTION MANUAL (Thirteenth Edition ed.).Volumen I y II.
- American National Standards Institute. (2006). STEEL DECK INSTITUTE COMPOSITE STEEL FLOOR DECK. Chicago: ANSI Accredited Standards Developer.
- Gere, James ., & Timoshenko, Stephen. (1984). MECÁNICA DE MATERIALES. Segunda Edición, México D.F., Grupo Editorial Sudamerica.
- SENCICO. (s.f.). MANUAL TÉCNICO PARA EL USO DE PLACAS COLABORANTES PARA LOSAS DE ENTREPISO. Lima, Perú.
- Singer, Ferdinand. (1971). RESISTENCIA DE MATERIALES. México, D.F.: Harper & Row Latinoamérica.
- Steel Deck Institute. (2006). SDI MANUAL OF CONSTRUCTION WITH STEEL DECK (Second Edition ed.). Chicago.

ANEXOS

ANEXO N°1
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS
CILINDROS DE HORMIGÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESION EN CILINDROS DE HORMIGON

INF. No. 12-0714
Hoja 1 de 1

Quito, 16 de Abril de 2012

SOLICITA: PAUL GALAN Y DAVID JARAMILLO
PROYECTO: PROYECTO DE TITULACIÓN
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$
NORMA: ASTM C39/C39M - 05

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA	EDAD	P. ESPEC.	RESISTENCIA
			ROTURA	(dias)	(gr/cm^3)	(Kg/cm^2)
1	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	12-Ene-12	7	2,28	200
2	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	19-Ene-12	14	2,34	232
3	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	02-Feb-12	28	2,29	270



 ING. CÉSAR MONROY
 JEFE DE LABORATORIO



Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.

Archivo : C12-069 . xls



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESION EN CILINDROS DE HORMIGON

INF. No. 12-0738
Hoja 1 de 1

Quito, 23 de Abril de 2012

SOLICITA: PAUL GALAN Y DAVID JARAMILLO
PROYECTO: PROYECTO DE TITULACIÓN
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$
NORMA: ASTM C39/C39M - 05

No.	FECHA FABRICA	DESCRIPCION	FECHA	EDAD	P. ESPEC.	RESISTENCIA
			ROTURA	(días)	(gr/cm^3)	(Kg/cm^2)
1	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	23-Abr-12	109	2,23	280
2	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	23-Abr-12	109	2,30	267
3	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	23-Abr-12	109	2,26	271
4	05-Ene-12	HORMIGÓN $f_c = 210\text{kg/cm}^2$	23-Abr-12	109	2,28	253

ING. CÉSAR MONROY
JEFE DE LABORATORIO



Laboratorio calificado por el INEN y miembro del Sistema Nacional de Laboratorios, SILA.

Archivo : C12-069 . xls

ANEXO N°2
INFORMES DE LOS ENSAYOS DEL MÓDULO DE
ELASTICIDAD DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN




Veintimilla y Av. 12 de Octubre
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec
Telf.: 5932991 529
Fax: 5932991 624
Facultad de Ingeniería Civil
Quito - Ecuador

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN CON MODULO DE ELASTICIDAD EN
CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: Titulación SOLICITA: Paúl Galán
LOCALIZACIÓN: Quito FISCALIZACIÓN:
MUESTRA: Tomada por el cliente CONTRATISTA:
NORMA DE ENSAYO: ASTM C 39 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2012/04/19
NORMA DE REFERENCIA: ASTM C 469 FECHA DE IMPRESIÓN: 2012/05/23

RECEPCIÓN N° 20275
HOJA: 1 de 1

Probeta N°	1	2	3
Identificación de la probeta
Elemento
Fecha de fabricación	2012/01/05	2012/01/05	2012/01/05
Fecha de rotura	2012/04/24	2012/04/24	2012/04/24
Edad (días)	110	110	110
Altura sin refrentado (mm)	304,00	305,00	304,00
Diámetro 1 (mm)	152,00	152,00	152,00
Diámetro 2 (mm)	152,00	152,50	153,00
Diámetro promedio (mm)	152,00	152,25	152,50
Relación H/D	2,00	2,00	2,00
Área (mm ²)	18145,84	18205,58	18265,42
Volúmen (mm ³)	5516335,11	5552701,45	5552686,48
Masa (gr)	12750,00	12770,00	12420,00
Peso unitario (gr/cm ³)	2,31	2,30	2,24
Factor de corrección	1,00	1,00	1,00
Modulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	220083,73	311796,07	282954,93
Carga de ruptura (kN)	507,00	516,00	525,00
Resistencia (MPa)	27,9	28,3	28,7
Tipo de falla			
	4	4	4

1MPa = 10,2 Kg/cm²

OBSERVACIONES:


Ing. Javier Almeida N.
Responsable de Área.



ANEXO N°3
FICHA TÉCNICA DE KUBILOSA

FICHA TÉCNICA



KUBILOSA

Placa colaborante para losas con diseño moderno y fácil de instalar

CARACTERÍSTICAS:

- Elimina el uso de encofrados y apuntalamientos
- Instalación ultra rápida
- Reduce consumo de hormigón y hierro
- Sustituye el acero de refuerzo positivo
- Gran ahorro de mano de obra
- Fabricación a medida
- Sismo resistente



Unión con sistema de fijación más fácil y seguro aprobado por el ISTE del Deel Institute

TABLA DE PROPIEDADES KUBILOSA:

PROPIEDADES DEL PANEL					
ESPESOR (mm)	PESO (kg/m ²)	Is(+) (cm ² /m)	Is(-) (cm ² /m)	Ss(+) (cm ² /m)	Ss(-) (cm ² /m)
0.65	6.37	29.30	28.86	9.61	14.54
0.70	6.85	32.29	31.83	10.72	15.71
0.76	7.44	35.97	35.47	12.10	17.13

VOLUMEN HORMIGÓN/m ²	
ESPESOR DE LOSA (cm)	HORMIGÓN (m ³ /m ²)
5	0.06950
6	0.07954
7	0.08954
8	0.09954
10	0.11954
12	0.13954

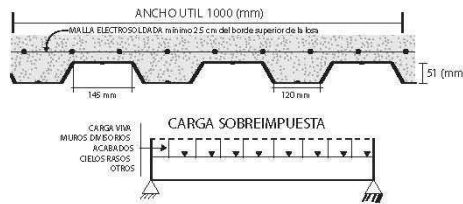
TABLA DE AYUDA PARA DISEÑO KUBILOSA:

CARGA VIVA SOBREIMPUESTA (kg/m ²)											
ESPESOR KUBILOSA (mm)	ESPESOR LOSA (cm)	SEPARACION ENTRE APOYOS (m)									
		1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
0.65	5	1940	1487	1164	924	742	600	488	397	323	261
	6	2252	1734	1364	1089	881	719	590	486	401	331
	7	2252	1981	1564	1255	1020	837	692	575	479	400
	8	2252	2228	1764	1420	1159	955	794	664	557	469
	10	2252	2252	2164	1751	1437	1192	998	842	714	608
0.70	5	2252	2252	2081	1714	1428	1202	1020	870	746	
	6	2252	1612	1265	1008	812	660	530	442	362	296
	7	2252	1879	1481	1186	962	788	650	538	447	371
	8	2252	2145	1687	1365	1112	916	760	634	531	446
	10	2252	2252	1912	1543	1262	1043	870	730	615	521
0.76	5	2252	2252	2252	2252	1862	1555	1311	1114	953	819
	6	2252	1760	1384	1107	895	731	601	495	409	338
	7	2252	2050	1619	1301	1059	870	720	600	501	419
	8	2252	2252	1854	1496	1222	1009	840	704	593	500
	10	2252	2252	2089	1689	1385	1148	960	809	685	582
12	2252	2252	2252	2252	2036	1704	1440	1226	1052	907	

MAXIMA LUZ SIN APUNTALAR SEGUN CONDICIONES DE APOYO

ESPESOR KUBILOSA (mm)	ESPESOR LOSA (cm)	LUZ (m)		
		1	2	3
0.65	5	1.58	2.10	1.94
	6	1.51	2.02	1.86
	7	1.46	1.95	1.80
	8	1.40	1.89	1.74
	10	1.33	1.79	1.65
0.70	5	1.61	2.16	2.00
	6	1.55	2.08	1.91
	7	1.49	2.00	1.85
	8	1.45	1.94	1.79
	10	1.37	1.83	1.69
0.76	5	1.66	2.23	2.00
	6	1.59	2.14	1.97
	7	1.53	2.06	1.90
	8	1.48	2.00	1.83
	10	1.41	1.88	1.74
12	1.34	1.79	1.65	

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN



Tolerancias según norma INEN 2 221:99
Tolerancia longitud: la tolerancia en longitud para paneles de hasta 7m, será de +40mm; para longitudes mayores a 7m, se añadirá 5mm, por cada incremento de 1m.
Tolerancia ancho útil: Esta entre 3 y 5mm, de acuerdo a los espesores de materia prima de los que disponemos.
 KUBIEC se reserva el derecho de modificar las especificaciones de sus productos sin previo aviso.

Fabricado por:



Vademécum de la Construcción y Decoración