

VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

**EVALUACIÓN DE VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL OCASIONADO POR LOS MALOS  
PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LOSAS DE CONCRETO ALIGERADAS CON CASETONES DE MADERA Y  
LONA TOMANDO COMO CASO DE ESTUDIO EL EDIFICIO CEFE – CHAPINERO.**

Ing. Jhon Diver Montenegro Méndez



Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de

Ingenierías

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D. C.

2024

VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

**Evaluación de variaciones del comportamiento estructural ocasionado por los malos procesos constructivos de losas de concreto aligeradas con casetones de madera y lona tomando como caso de estudio el edificio CEFE – Chapinero.**

**Ing. Jhon Diver Montenegro Méndez**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones.**

**Ing. Arnold Giuseppe Gutiérrez Torres (director)**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Especialización en Diseño y Construcción de Obras de Infraestructura y Edificaciones, Facultad de**

**Ingenierías**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá D. C.**

**2024**

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
OBJETIVO GENERAL .....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>12</b>
LOSA DE CONCRETO ALIGERADA .....	14
LOS CASETONES .....	15
IMPACTO EN LA ESTRUCTURA.....	16
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA APLICADA</b> .....	<b>18</b>
INSPECCIÓN VISUAL Y TÉCNICA .....	18
VIGUETAS Y VIGAS .....	22
LOSA SUPERIOR.....	22
MODELADO Y SIMULACIÓN .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>38</b>

**Lista de Figuras**

**Figura 1** *Sobreanchos de vigas, viguetas y losa por deformación de casetones. ...Error! Bookmark not defined.*

**Figura 2** *Sobreanchos de torta superior por deformación de casetones.....*  
..... **Error! Bookmark not defined.3**

**Figura 3** *Análisis de cargas que afectan la losa.....15*

**Figura 4** *Ubicación de los apiques hechos a la torta superior*  
.....167

**Lista de Tablas**

**Tabla 1** Porcentajes de desperdicio del concreto ..... **Error! Bookmark not defined.**

# VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

## **Anexos**

ANEXO No. 1. MEMORIA DE CÁLCULO.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### **Resumen**

Los resultados obtenidos y analizados durante la evaluación del comportamiento estructural de la losa de concreto aligerada del edificio CEFÉ Chapinero demuestran que este elemento estructural de concreto reforzado fue diseñado adecuadamente, cumpliendo con la normatividad vigente en Colombia para la construcción, específicamente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Sin embargo, los procesos constructivos inadecuados durante el vaciado de concreto en la losa han provocado daños en los elementos acondicionados para su colocación, reprocesos y reparaciones que han retrasado la entrega del proyecto. Se concluye que, para garantizar una correcta construcción de las losas, no solo es necesario revisar los diseños, sino también controlar las buenas prácticas en el vaciado de concreto, el encofrado de los elementos estructurales y el apuntalamiento. Esto implica detallar un proceso constructivo en los proyectos. Se presentan recomendaciones específicas al respecto.

*Palabras clave: Losa aligerada, diseño, proceso constructivo, concreto, estructura.*

### **Abstract**

The results obtained and analyzed during the evaluation of the structural behavior of the lightened concrete slab in the CEFÉ Chapinero building demonstrate that this reinforced concrete structural element was properly designed, meeting the current construction regulations in Colombia, specifically the Colombian Earthquake-Resistant Construction Code (NSR-10). However, inadequate construction processes during the concrete pouring of the slab have caused damage to the elements prepared for its placement, resulting in rework and repairs that have delayed the project's completion. It is concluded that to ensure proper construction of the slabs, it is necessary not only to review the designs but also to control good practices in concrete pouring, formwork of structural elements, and shoring. This involves detailing a construction process in the projects. Specific recommendations are provided in this regard.

Keywords: Lightweight slab, design, construction process, concrete, structure.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### **Introducción**

La presente investigación aborda las dificultades surgidas durante el vaciado de concreto en una de las losas del Edificio CEFE – Chapinero. Estas dificultades se originaron debido a deformaciones en los elementos de madera utilizados para contener el material, ya que los casetones de madera y lona, elaborados de manera artesanal para aligerar la losa, no resistieron adecuadamente las cargas estáticas o el empuje del concreto. Como resultado, las vigas y losas adquirieron dimensiones mayores a las de diseño.

El objetivo es realizar un análisis estructural a partir de un modelo digital, comparando el comportamiento de una de las losas afectadas con la carga estimada en el diseño original. Se detectó un incremento de carga muerta en la losa, que fue sobrecargada con 218.208 kilogramos, distribuidos uniformemente en un área de 887 metros cuadrados, lo que representa un aumento de 246 kilogramos por metro cuadrado. Esto implica un incremento del 16% en la carga respecto al diseño inicial, pasando de 375,48 m<sup>3</sup> a 435,75 m<sup>3</sup> de concreto, lo que también generó un sobrecosto de 32.918.449 millones de pesos.

Por lo tanto, es pertinente realizar un estudio del comportamiento estructural de la placa de concreto para evaluar las variaciones ocasionadas por los errores en los procesos constructivos de las losas aligeradas con casetones de madera y lona.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Evaluar el comportamiento estructural de la edificación frente a las variaciones en las secciones de la losa, causadas por inadecuados procesos constructivos en los elementos de concreto aligerado con casetones de madera y lona, utilizando el Edificio CEFE – Chapinero como caso de estudio.

#### **Objetivos Específicos**

- Identificar los factores de mayoración y coeficientes de resistencia, así como la estimación de carga para las losas aligeradas.
- Modelar con las cargas iniciales de diseño y las cargas ocasionadas por mayor volumen de concreto generado en el proceso constructivo de la losa teniendo en cuenta la NSR-10 y a partir del software SAP 2000 para modelación de estructuras.
- Calcular los incrementos de carga presentado en la losa ocasionados por el aumento en el volumen de concreto utilizado, evaluando cómo este incremento afecta la capacidad portante de los elementos estructurales
- Analizar el comportamiento estructural de la losa adquirido por el incremento del volumen de concreto teniendo en cuenta la NSR-10.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

- Identificar los efectos estructurales y las malas practicas de construcción por medio de una inspección visual y técnica a los elementos de concreto.

### **CAPÍTULO I: Antecedentes del proyecto**

Las losas aligeradas de concreto se han convertido en una técnica constructiva comúnmente utilizada debido a su capacidad de reducir las cargas muertas, mejorando la eficiencia estructural de las edificaciones. Los encofrados para este tipo de estructuras pueden estar hechos de casetones de diversos materiales como madera, poliestireno, guadua o metálicos modulares. No obstante, para garantizar la integridad de la construcción, los encofrados deben cumplir con estrictos cálculos estructurales que les permitan soportar las cargas de empuje durante el vaciado del concreto y evitar deformaciones como pandeamientos en las losas o sobreanchos en vigas. Según la normativa vigente en Colombia, específicamente el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), los elementos constructivos deben diseñarse y ejecutarse con un margen de seguridad adecuado para soportar las cargas previstas y responder favorablemente ante un sismo.

El presente estudio tiene como objetivo analizar las fallas estructurales observadas en la losa aligerada del Edificio CEFE – Chapinero (polideportivo Nivel 2) en Bogotá, en las que se utilizaron casetones de madera y lona como elementos de encofrado. Se ha observado que estos casetones no son suficientemente resistentes para soportar el vaciado de concreto, lo que resultó en deformaciones y un incremento del volumen de concreto instalado, provocando sobrecargas en el sistema estructural. Estas fallas no solo generan sobreespesores en las vigas y pandeamiento en las losas, sino que también aumentan las probabilidades de que la estructura presente una falla en condiciones extremas, como un sismo.

El uso de casetones de madera y lona, que carecen de un diseño adecuado para soportar las cargas del concreto durante el proceso constructivo, ha ocasionado fallas en los elementos estructurales

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

de la losa aligerada del Edificio CEFE - Chapinero. Las deformaciones en los elementos estructurales han generado un mayor volumen de concreto en las vigas y las losas, lo que representa una carga muerta adicional no contemplada en el diseño original. Esto compromete la estabilidad del edificio y plantea la necesidad de una evaluación técnica exhaustiva que permita comprender las variaciones en el comportamiento estructural causadas por estos malos procedimientos constructivos.

El análisis de las fallas en los procesos constructivos es de suma importancia para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones. En Colombia, ASOCRETO (2022), en su artículo "Fallas en estructuras de concreto", señala que las fallas estructurales más comunes en las edificaciones están relacionadas con errores en los cálculos estructurales y en la implementación de los encofrados. Estas fallas pueden generar deformaciones y sobrecargas que comprometen la estabilidad de las estructuras. Asimismo, la investigación realizada por la Universidad Nacional de la Plata (2023) sobre "Problemas en estructuras que afectan su estabilidad" concluyó que las malas prácticas constructivas, incluyendo el uso inadecuado de los materiales y la colocación del concreto, son factores determinantes en la aparición de fallas estructurales.

Investigación sobre fallas en losas aligeradas en México: Un estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2021 examinó los problemas estructurales en losas aligeradas utilizadas en construcciones residenciales. Entre las principales fallas encontradas se incluyen pandeos y deformaciones pronunciadas, causadas por casetones diseñados incorrectamente o fabricados con materiales inadecuados, como madera o poliestireno. La investigación concluyó que estas deficiencias pueden comprometer la seguridad estructural de los edificios, particularmente en zonas propensas a sismos.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Problemas en edificaciones en Perú: En un análisis similar realizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú en 2022, se estudió el comportamiento de las losas aligeradas en construcciones comerciales. Los resultados revelaron sobrecarga de concreto y deformaciones no previstas en vigas y columnas, debido al empleo de casetones defectuosos o mal dimensionados. Este estudio también enfatizó la necesidad de cumplir con las normativas sísmicas y estructurales locales.

Análisis de fallas en edificios de Chile: Otro estudio, realizado por la Universidad de Chile en 2020, identificó que la incorrecta instalación de encofrados con casetones metálicos modulares provocó deformaciones permanentes en las losas aligeradas de un edificio de oficinas. De manera similar al caso del Edificio CEFE – Chapinero, las malas prácticas en el proceso constructivo incrementaron la carga muerta, afectando la estabilidad de la estructura.

Este proyecto busca aportar al conocimiento técnico en el área de construcción mediante la evaluación de las variaciones estructurales provocadas por el uso inadecuado de casetones en las losas aligeradas. La importancia de la investigación radica en su potencial para ofrecer soluciones que mejoren los procedimientos constructivos y eviten futuros errores, garantizando así la seguridad y la durabilidad de las edificaciones en el país.

### **Losa de concreto aligerada**

Las losas de concreto aligeradas son elementos estructurales las cuales se usan en la construcción de edificaciones con el objetivo de reducir la carga estructural que se puede tener con una losa maciza, esto se puede generar por el llenado de espacios que generan vacíos a la losa con la

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

inclusión de elementos de aligeramiento denominados casetones, esto ofrece a la estructura una reducción significativa de carga muerta a la estructura, se hace un uso más eficiente de materiales como el concreto y acero para refuerzo además de facilitar la colocación del concreto en el sitio de trabajo.

### **Los casetones**

Existen en el mercado diversos tipos de casetones, entre los más usados se encuentran los casetones de poliestireno y de madera forrados con lona. Aunque los casetones de madera son económicos y fácil de conseguir, pueden presentar problemas de durabilidad y deformaciones al momento de la descarga del concreto; esto conlleva a tener aumento en los dimensionamientos de tortas y vigas del elemento estructural. **(Figura 1)**.

Las malas prácticas constructivas, causan problemas estructurales debido a problemas comunes en la preparación de encofrados teniendo como consecuencia malos alineamientos, falta de soporte adecuado y deformaciones por la resistencia de la madera del casetón.

**Figura 1**

Sobrecargos de vigas, viguetas y losa por deformación de casetones.



Fotografía fuente propia.

También durante el vaciado del concreto, se presentan situaciones adversas dadas las condiciones del material cuando éste presenta inconsistencias en la mezcla, segregación por impacto o simplemente porque se presenta un vaciado inadecuado.

### **Impacto en la estructura**

En las losas de concreto aligeradas los problemas posteriores al vaciado del concreto, suelen ser muy comunes. La aparición de grietas causadas por asentamientos diferenciales por cargas del material o por causa de un mal proceso de curado.

Las deformaciones excesivas surgen debido a la falta de rigidez o soporte adecuado, lo que provoca una disminución en la resistencia de la estructura, ya que el elemento pierde capacidad para

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

soportar cargas, comprometiendo la seguridad del edificio. Por lo tanto, se realizaron 10 perforaciones en diferentes puntos de la losa afectada por el peso del concreto, con el objetivo de medir los espesores finales de la torta superior, ya que la sobrecarga de material causó el pandeamiento del casetón, lo que resultó en un aumento del espesor de dicha torta. **(Figura 2).**

**Figura 2**

*Sobrecargos de torta superior por deformación de casetones.*



Fotografía fuente propia.

### **CAPÍTULO II: Metodología aplicada**

Para evaluar el comportamiento estructural de la losa de concreto aligerada en el Edificio CEFE Chapinero, se desarrolla el siguiente proceso: 1. Revisión Documental: Análisis de planos arquitectónicos y estructurales de la losa y cumplimiento con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). 2. Inspección Visual y Técnica: Evaluación de fallas en casetones y comparación de volúmenes de concreto fundido con los pedidos, identificando discrepancias y posibles sobreespesores en las vigas y losas. 3. Análisis de Datos: Cálculo del porcentaje de desperdicio de concreto y evaluación de su impacto en la resistencia estructural. 4. Modelado y Simulación: Uso del software SAP 2000 para modelar la losa y simular las condiciones estructurales, aplicando combinaciones de diseño y sobrecargas. 5. Evaluación de Resultados: Revisión de los resultados para identificar posibles problemas estructurales y proponer recomendaciones para su corrección.

#### **Inspección visual y técnica**

Durante una inspección técnica realizada tras evidencias de deterioro estructural, se identificaron deformaciones anómalas, fisuración longitudinal y transversal, así como desprendimientos de recubrimiento en algunas vigas de la losa del primer nivel. Estos síntomas generaron preocupación por la integridad estructural del nivel inferior y el posible compromiso de la estabilidad general del edificio. Dado que el primer nivel cumple funciones críticas tanto estructurales como funcionales, al servir de soporte para los niveles superiores y contener accesos principales, se procedió a realizar un análisis detallado del comportamiento de las vigas afectadas y de la losa casetonada en estado de diseño y estado posterior a las afectaciones. Esta investigación incluye la revisión de planos estructurales

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

originales, análisis mediante herramientas de modelación estructural y la evaluación de las condiciones reales del sitio.

El objetivo de este ítem es identificar los efectos estructurales y las malas prácticas de construcción, encontrando como evidencia en obra que los casetones presentan fallas en los elementos de encofrado al momento del vaciado del concreto, ocasionando sobredimensiones en las vigas, viguetas y torta superior. Se tienen reportados los volúmenes finales de concreto fundido en la placa de piso No. 2, siendo este nivel el que presentó las fallas en casetones porque es el primer nivel del edificio donde se funden vigas de 1 metro de espesor, en los niveles inferiores los espesores de vigas fueron de 60 y 80 centímetros por lo que no se tuvo mayores inconvenientes a la hora del vaciado y en los niveles superiores con vigas de espesor 1 metro se tomaron acciones correctivas para evitar las fallas en los elementos del encofrado:

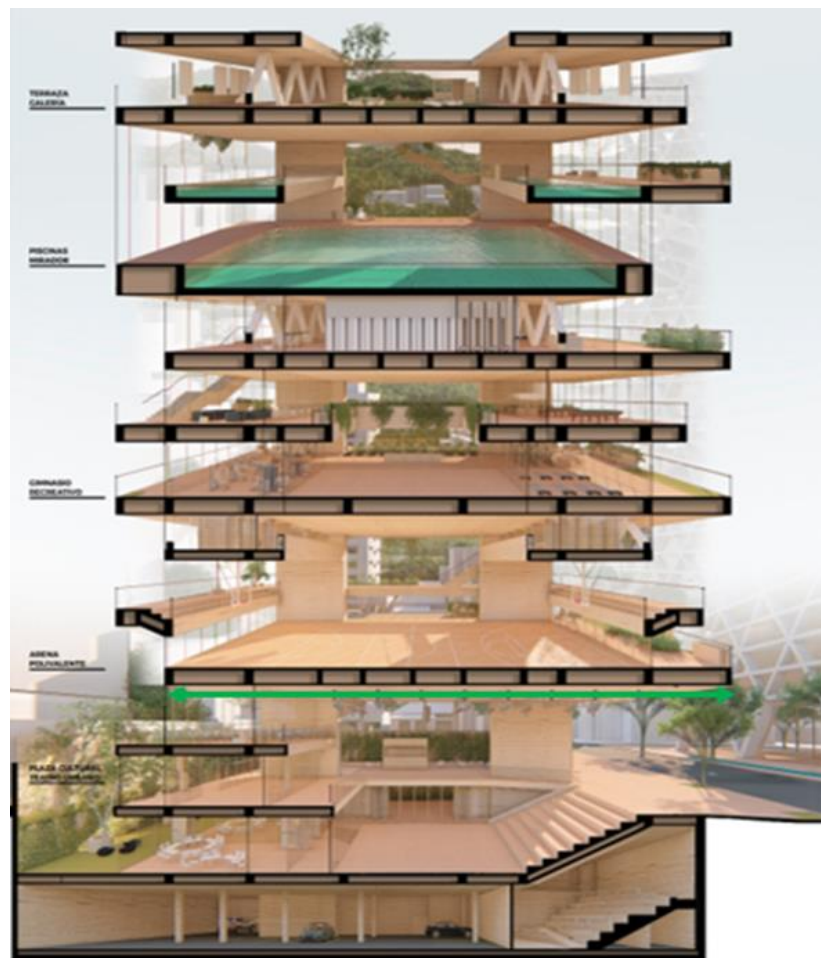
- Concreto medido placa piso 2: 375.48m<sup>3</sup>.
- Concreto pedido al proveedor Argos: 435.75m<sup>3</sup>.
- Diferencia: 60.27m<sup>3</sup>.

Se observa que hubo un 16.05% de más de concreto utilizado para completar la fundida de la placa del piso No. 2 (Nivel estructural señalado en la imagen con la fecha de color verde), esto equivalente a 144.65 toneladas de sobrecarga al peso propio de concreto esta condición puede afectar la resistencia de los elementos estructurales, vigas y losa inferior, por esta razón se debe realizar un análisis al diseño y emitir un concepto respecto a esta situación. **(Figura 3)**

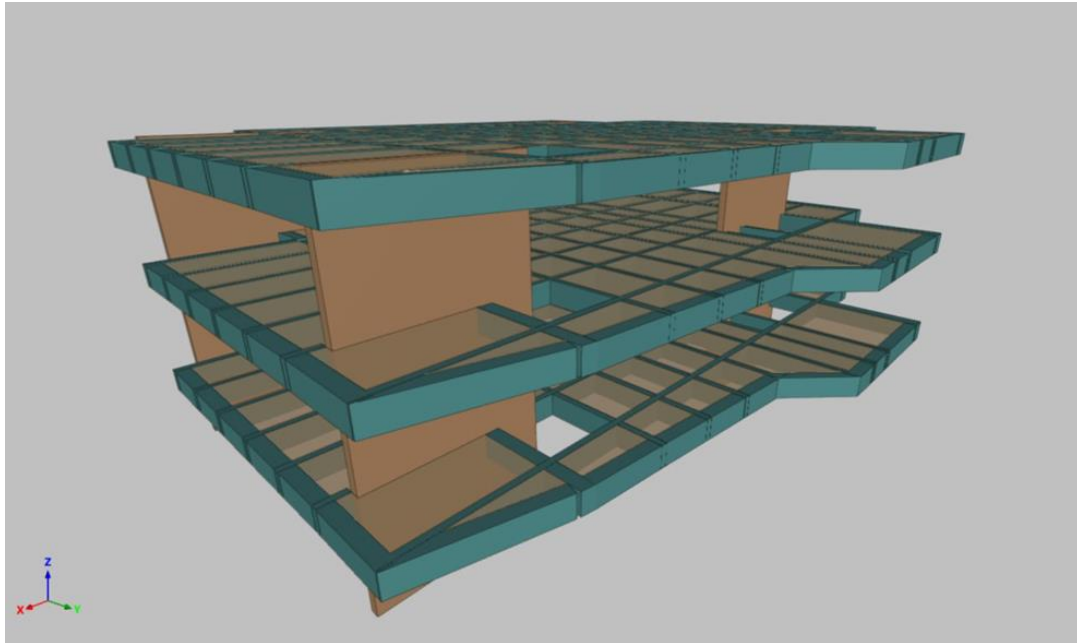
## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

**Figura 3**

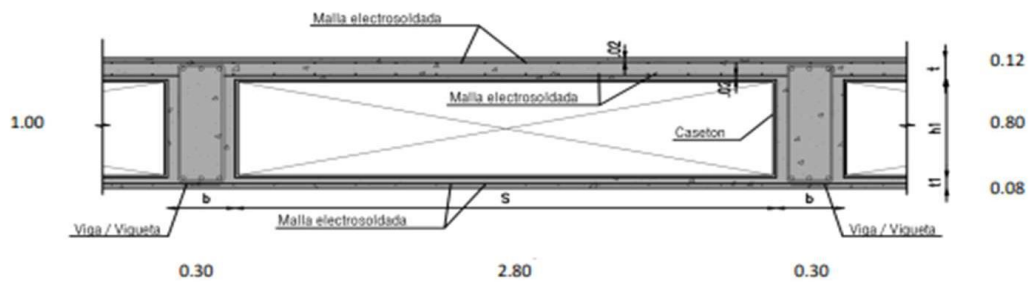
*Ubicación de la losa del Polideportivo y Análisis de cargas que afectan la losa.*



# VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



PISO: NIVEL 2 CIRCULACIONES



CARGAS	[ Kg/m <sup>2</sup> ]	[ Kg/m <sup>2</sup> ]
* PLACA	480	
* VIGUETAS	186	
* CASETÓN		30
* ACABADOS		172
* MUROS DIVISORIOS		0
* OTROS		30
<b>C. MUERTA</b>	<b>666 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>232 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>C. VIVA</b>	<b>500 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0</b>
<b>C. TOTAL =</b>	<b>1388 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>1398 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>C. ULTIMA = 1.2 CM + 1.6 CV =</b>	<b>1878 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>1878 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Factor de Carga, F.C.=</b>	<b>1.34</b>	

Nota: El peso propio de vigas lo calcula automáticamente el programa

### CARGA A VIGUETAS:

$$q_u / \text{Vigueta} = 1878 \times 3.10 = 5820.6 \text{ Kg/m}$$

### DISEÑO DE LA LOSA SUPERIOR

		Materiales (kg/cm <sup>2</sup> )		
C. MUERTA =	490	f'c =	490	b (cm) = 100
C. VIVA =	500	fy =	4200	d (cm) = 9
C. ULTIMA =	1388			

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Diseño a Flexión					
	$M_u$ (kg-m/m)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	k	$\rho$	$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)
M-	1088.19	0.149	0.12	0.0040	3.63
M+	777.28	0.107	0.12	0.0029	2.58

Chequeo Cortante		
$V_u$ (kg/m)	$\phi V_c$ (kg/m)	Check
1943.20	7919.13	Ok

DISEÑO DE LA LOSA INFERIOR			Materiales (kg/cm <sup>2</sup> )		b (cm) =	d (cm) =
C. MUERTA =	222.0	Kg/m <sup>2</sup>	$f'_c$ =	490	100	
C. ULTIMA =	266.4	Kg/m <sup>2</sup>	$f_y$ =	4200	4	

Diseño a Flexión					
	$M_u$ (kg-m/m)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	k	$\rho$	$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)
M-	208.86	0.145	0.12	0.0039	1.57
M+	149.18	0.104	0.12	0.0028	1.44

Chequeo Cortante		
$V_u$ (kg/m)	$\phi V_c$ (kg/m)	Check
372.96	3519.62	Ok

Fuente: memorias CEFE.

Se hace una revisión de los tres elementos involucrados dentro de la placa del piso N+8.02m para estimar el porcentaje de sobrepeso por separado y su incidencia con los diseños realizados.

### Viguetas y vigas

En las viguetas y las vigas (descontando la torta superior e inferior), se observa que el principal problema de la fundida de estos elementos fue la debilidad de la estructura del casetón al no tener los suficientes elementos para contrarrestar la presión del concreto en una altura de 0.80 m, este comportamiento se observó principalmente en la parte más baja de las vigas por encima de la torta inferior generando un sobrecosto en la parte más baja. **Ver Figura 1.**

### Losa superior

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

La losa superior de la estructura es de un espesor de 0.12 m, se revisa y se establece que el porcentaje de desperdicio del concreto se fue dentro de la torta superior, se hicieron unas perforaciones en las placas superiores en varios puntos escogidos a criterio para determinar el sobreespesor promedio de la placa superior, encontrando espesores de hasta 0.18 m situación que incrementó hasta en 0,06 m la dimensión de la torta. **Ver Figura 2**; a continuación, se presenta la ubicación de los apiques hechos a la torta superior de la placa del N+8.02 m y los espesores medidos. **(Figura 4)**

**Figura 4**

Ubicación de los apiques hechos a la torta superior

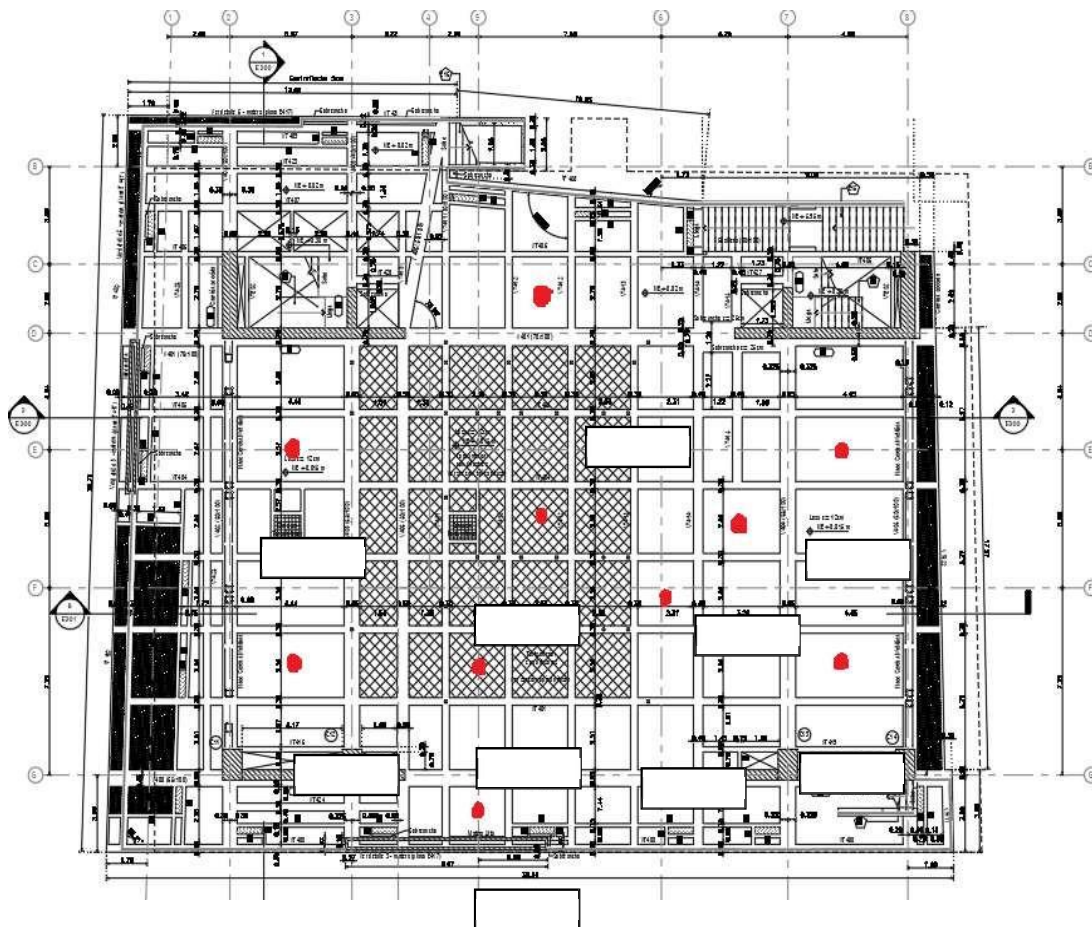


Imagen fuente memorias CEFE.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Para verificar los espesores finales de la torta superior de la losa, se realizan un total de 10 perforaciones distribuidas en toda el área de la losa. Se mide el ancho de la torta superior con la ayuda de un alambre, obteniendo un espesor promedio de 14.4 cm. El espesor de diseño de la losa es de 12 cm. Con base en esta diferencia, se calculan los porcentajes de desperdicio para las vigas y viguetas internas, resultando en un incremento del concreto vaciado total del 16.05 %. **(Tabla 1)**

- Concreto medido placa piso 2: 375.48 m<sup>3</sup>.
- Concreto pedido al proveedor Argos: 435.75 m<sup>3</sup>.
- Diferencia: 60.27 m<sup>3</sup>.
- Incremento porcentual: 16.05 %.

**Tabla 1**

Porcentajes de desperdicio del concreto

		Espesor (cm)	Porcentaje	Porcentaje con desperdicio
Torta sup		12	12.00%	14.40%
	VG y VGT	80	80.00%	93.65%
Torta inferior		8	8.00%	8.00%
			100.00%	116.05%

Tabla fuente propia

### Análisis estructural y modelación

Con el fin de evaluar el desempeño estructural de la losa casetonada del primer nivel del edificio CEFE Chapinero y diagnosticar las posibles causas del fallo observado, se realizó un modelo analítico

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

utilizando el software SAP2000, reconocido por su capacidad para simular sistemas estructurales de concreto reforzado con precisión.

### **Alcance de la modelación**

La modelación estructural se enfocó en la losa casetonada afectada, junto con las vigas de apoyo correspondientes. No se incluyeron los casetones de manera explícita en el modelo; en su lugar, la losa fue representada como una superficie continua con propiedades homogenizadas para evaluar su respuesta global frente a cargas gravitacionales. Se optó por un análisis lineal estático, complementado con combinaciones de carga según normativas vigentes, y no se consideraron efectos de segundo orden (P-Delta) debido al enfoque localizado del análisis.

- Geometría y configuración estructural.

La losa modelada corresponde a un área representativa del primer nivel, en la cual se observó la mayor concentración de esfuerzos. Su configuración corresponde a un sistema de losa casetonada con las siguientes características geométricas:

- Espesor de la losa maciza superior ("torta superior"): 12 cm
- Altura de los nervios: 80 cm
- Separación entre nervios: 80 cm
- Apoyos: Vigas simplemente apoyadas en muros de corte.

Las vigas de borde y vigas intermedias se modelaron como elementos lineales de concreto reforzado, con rigidez adecuada al sistema de losas apoyadas, permitiendo evaluar correctamente la

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

distribución de cargas. Inicialmente de 60 cm de ancho y después del fallo se modelan de 100 cm de ancho.

- Cargas aplicadas

Carga muerta total: 14.000 kg distribuidos sobre el área modelada, la cual es aproximadamente equivalente a  $1.4 \text{ t/m}^2$ , incluyendo peso propio de todos los niveles superiores, acabados, y elementos no estructurales.

Carga viva:  $500 \text{ kg/m}^2$ , según normativa para edificaciones de uso público.

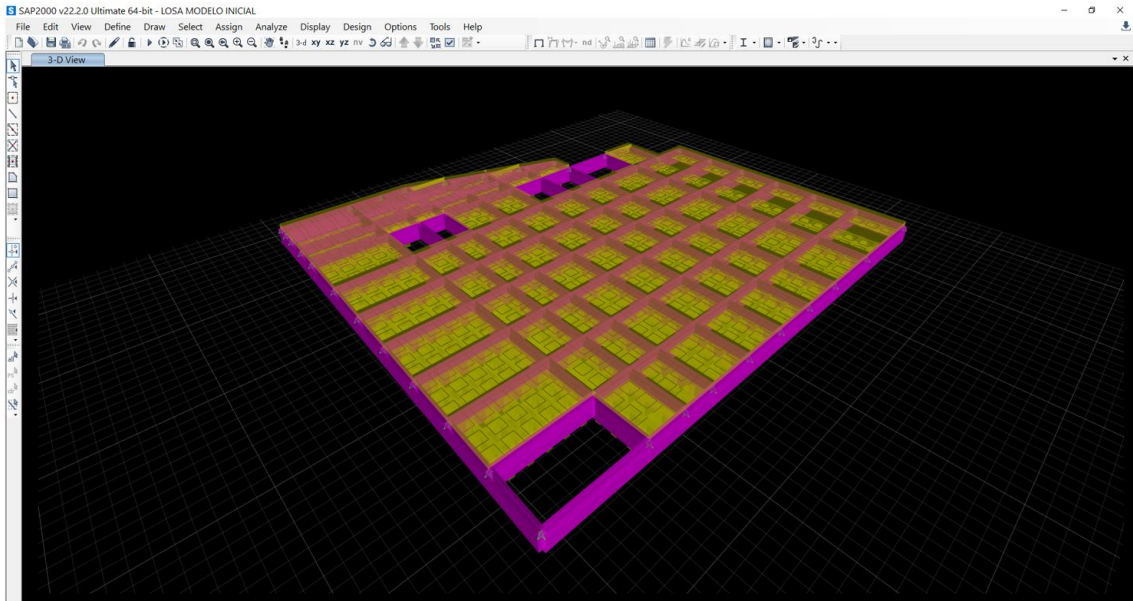
Se generaron combinaciones de carga estática conforme a las disposiciones de la NSR-10 para evaluar la respuesta en estados límite de servicio y resistencia.

### **Modelación antes del fallo estructural**

Como parte del estudio, se desarrolló un modelo tridimensional del sistema losa-viga en SAP2000, incorporando todas las cargas gravitacionales previamente calculadas. Este modelo 3D permitió una evaluación más integral del comportamiento estructural, considerando la interacción entre la losa casetonada y las vigas que la soportan.

Las cargas fueron aplicadas como distribuciones uniformes equivalentes sobre las áreas correspondientes, reflejando tanto la carga muerta (incluyendo peso propio del sistema y acabados) como la carga viva normada. Se utilizaron combinaciones de carga según lo estipulado en la NSR-10, permitiendo evaluar el sistema tanto en estado límite de servicio como en estado límite último.

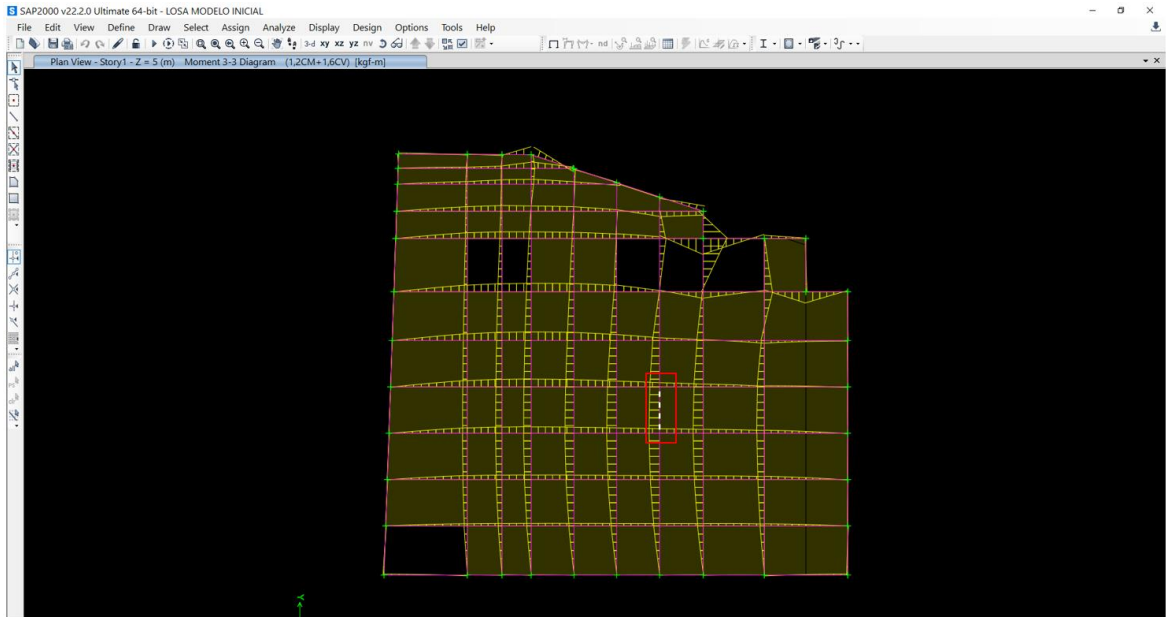
## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



Posteriormente, se procedió a realizar un análisis específico de esfuerzos internos para identificar los elementos más solicitados dentro del sistema. El análisis reveló que las vigas ubicadas en la zona central de la losa fueron las que presentaron los mayores esfuerzos, tanto en términos de momento flector como de esfuerzo cortante.

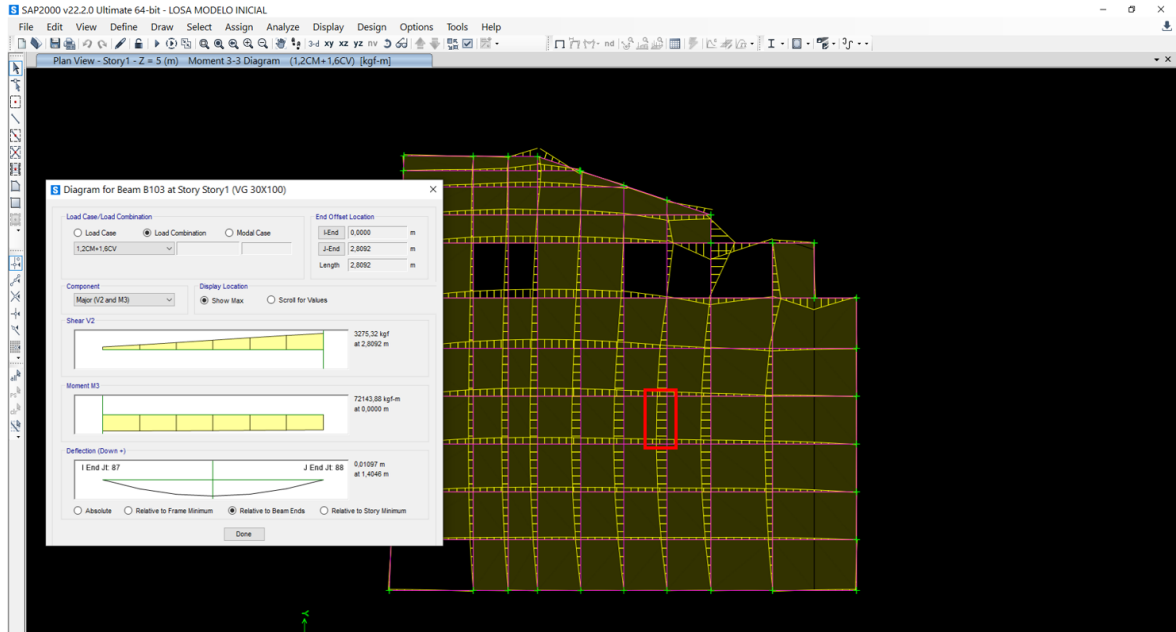
Estas vigas centrales actúan como elementos clave en la redistribución de cargas, dado que soportan directamente las áreas más extensas de la losa. Además, al estar alejadas de los apoyos perimetrales, tienden a recibir mayores solicitaciones, situación que se vio confirmada en el modelo. En la siguiente figura se presentan los diagramas de momento flector de todas las vigas

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



El análisis permitió extraer diagramas de momento, cortante y deformación para esta viga crítica. Estos resultados aportan evidencia técnica sólida para respaldar la hipótesis de subestimación del diseño en zonas centrales de la losa, especialmente en el refuerzo superior de las vigas que actúan como soportes principales del sistema casetonado.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



### Modelación posterior al fallo de vigas.

Considerando los resultados obtenidos y la evidencia de subrefuerzo en las vigas centrales, se ha planteado una estrategia de refuerzo estructural orientada a mejorar la capacidad de la losa casetonada y mitigar los efectos del fallo observado. La solución propuesta consiste en incrementar la cantidad de vigas en la losa afectada, mediante la incorporación de nuevas vigas con un ancho de 60 cm distribuidas estratégicamente en las zonas más solicitadas. Este reforzamiento busca redistribuir más eficientemente las cargas gravitacionales, reducir los momentos flectores en las vigas existentes y mejorar el confinamiento general del sistema.

Para validar esta intervención, se desarrolló un nuevo análisis estructural de la losa completa, incorporando la geometría modificada con las vigas adicionales. Este análisis permitió evaluar el impacto del refuerzo sobre la distribución de esfuerzos, la disminución de flechas y el cumplimiento de los requisitos normativos, tanto en estado límite de servicio como de resistencia. Los resultados

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

preliminares indican una mejora significativa en el desempeño estructural, lo que respalda la viabilidad de esta solución como medida correctiva frente a las deficiencias detectadas. A continuación, se analizan la viga falla, tras el aumento de las dimensiones.

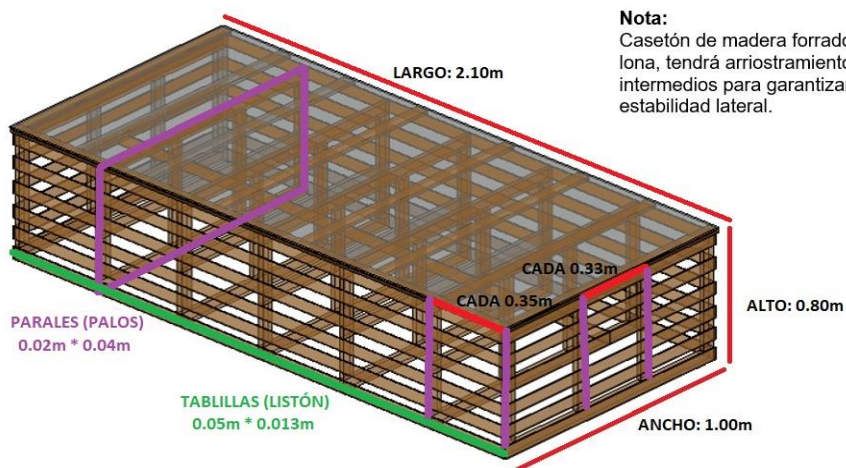
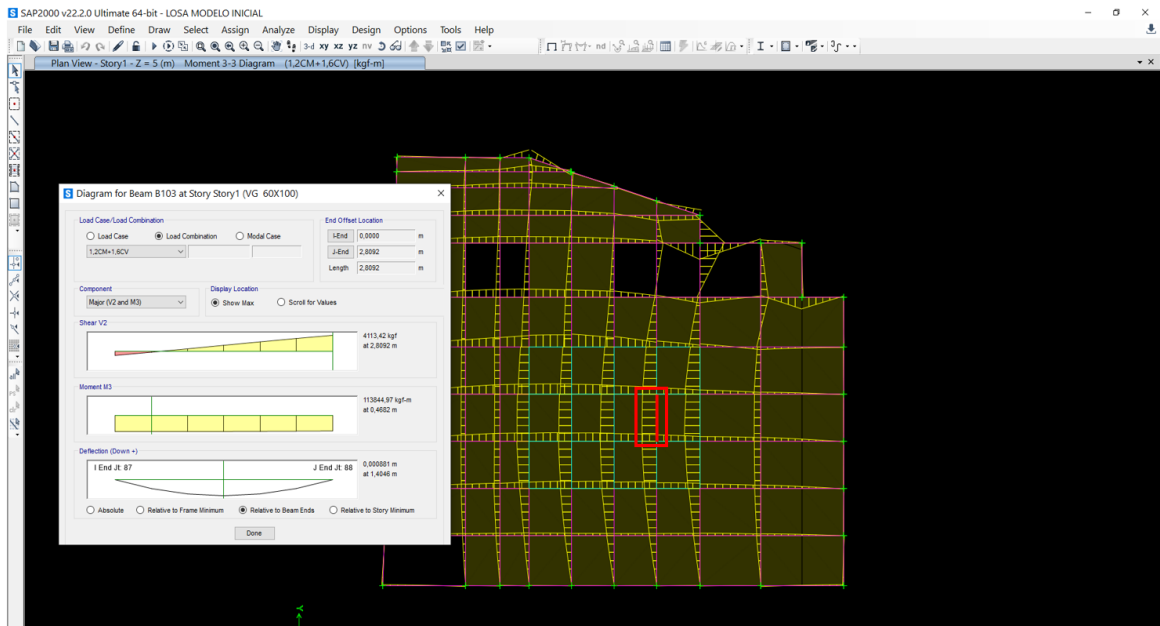


Imagen fuente propia.

### **CAPÍTULO III: Resultados**

#### **Análisis de Resultados**

Del análisis estructural realizado en el modelo tridimensional, se concluye que las vigas ubicadas en el centro de la losa presentan los mayores niveles de esfuerzo flector, tanto en los tramos (momentos positivos) como en los apoyos (momentos negativos). En particular, se analizó el comportamiento de una de las vigas centrales, cuyo extremo derecho mostró una demanda de momento que requería una cuantía mínima de 14,05 cm<sup>2</sup> y máxima de 24,82 cm<sup>2</sup> en la cara a compresión.

No obstante, las inspecciones revelan que en esa sección se instalaron solamente 11,64 cm<sup>2</sup> de acero, lo que representa un déficit del 53,1% respecto al valor requerido. Esta diferencia es crítica, ya que compromete la capacidad resistente de la sección, especialmente en momentos negativos donde el refuerzo superior es determinante para evitar fisuras y deformaciones excesivas.

Para verificar el cumplimiento del criterio de servicio relacionado con deformaciones, se evaluó la deflexión máxima admisible para una de las vigas centrales, cuya luz libre es de 2.80 metros. Según la normativa vigente (NSR-10 y ACI 318), la deflexión límite bajo carga viva o carga total se establece en:

$$\text{Deflexión admisible} = 360 / L = 360 / 2.80\text{m} = 0.00778 \text{ m}$$

Es decir, la flecha máxima permitida es de 7.78 mm.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Sin embargo, el análisis estructural arrojó una deflexión real de 0.01097 m (10.97 mm), lo cual casi duplica el valor admisible. Esta flecha representa un 141% del límite normativo, indicando un desempeño deficiente en estado de servicio.

La magnitud excesiva de la deflexión no solo compromete la funcionalidad y estética del sistema (grietas, desprendimientos de recubrimiento, deformación visible), sino que también es un síntoma de subrefuerzo estructural, situación que ya se evidenció con el déficit de acero instalado en la viga. Este doble incumplimiento, confirma que la viga se encuentra subdimensionada tanto para soportar los momentos flectores como para controlar las deformaciones verticales, lo que refuerza la hipótesis de falla por diseño deficiente.

Tras realizar el análisis estructural complementario considerando el aumento del ancho de las vigas a 60 cm, se observaron valores de momento flector y esfuerzo cortante superiores a los obtenidos en el modelo inicial. Esta condición se atribuyó a la redistribución de cargas en el sistema reforzado y a la mayor participación de las vigas ampliadas en el soporte de la losa casetonada.

Con base en estos nuevos resultados, se definió un esquema de refuerzo que garantizara la capacidad estructural adecuada frente a las nuevas solicitaciones. Se estableció la instalación de un total de 10 barras de refuerzo longitudinal por cara de la viga (Compresión y tracción), dispuestas en paquete, incluyendo dentro de este diseño las 3 barras de 7/8" existentes identificadas en el análisis inicial. Esta solución permitió complementar eficazmente la cuantía de acero requerida en tracción y compresión, evitando subrefuerzos localizados.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Para asegurar el adecuado confinamiento del acero y la resistencia al cortante, se especificó una separación de estribos de 3/8" cada 5 cm en toda la longitud de la viga. Además, producto del análisis torsional realizado en el modelo actualizado, se determinó la necesidad de incorporar 6 barras de 3/4" como armadura de piel, distribuidas en el perímetro de la sección, con el fin de resistir los efectos de torsión identificados en zonas específicas de conexión con otros elementos.

Esta solución estructural permitió garantizar el cumplimiento de los criterios de resistencia, servicio y ductilidad exigidos por la normativa, recuperando la capacidad portante y la funcionalidad del sistema afectado.

Para verificar el cumplimiento del criterio de servicio relacionado con deformaciones, se evaluó la deflexión máxima admisible para una de las vigas centrales, cuya luz libre es de 2.80 metros. Según la normativa vigente (NSR-10 y ACI 318), la deflexión límite bajo carga viva o carga total se establece en:

$$\text{Deflexión admisible} = 360 / L = 360 / 2.80\text{m} = 0.00778 \text{ m.}$$

Esto indica que la viga no debe superar una deflexión de 7.78 mm bajo cargas de servicio.

En el modelo estructural actualizado, considerando el refuerzo implementado (incremento del ancho de viga a 60 cm y aumento del área de acero), se obtuvo una deflexión máxima de 0.000881 m, equivalente a 0.881 mm.

Este valor representa solo un 11.3% de la deflexión máxima permitida, lo cual confirma que el comportamiento en estado de servicio mejora considerablemente respecto al diseño original. La nueva

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

configuración estructural ofrece una mayor rigidez, reduce significativamente las deformaciones verticales y cumple holgadamente con los límites establecidos por la normativa.

### **Conclusiones y Recomendaciones**

El análisis comparativo entre el diseño original y el modelo corregido permitió evidenciar deficiencias significativas en la cuantía de refuerzo y el comportamiento estructural bajo cargas gravitacionales, incluyendo efectos de flexión, cortante y torsión. Con base en estos resultados, se desarrolló una propuesta integral de refuerzo que mejora sustancialmente el desempeño de las vigas más solicitadas, cumpliendo con los criterios normativos establecidos en la NSR-10 para estados límite último y de servicio.

Las conclusiones presentadas a continuación resumen los hallazgos más relevantes del estudio, integrando criterios teóricos y prácticos para sustentar las decisiones de ingeniería adoptadas en la solución del problema estructural.

El fallo estructural en las vigas centrales de la losa casetonada del primer nivel del edificio se debió principalmente a una subestimación del área de acero requerida, tanto en tracción como en compresión. El análisis reveló que, en algunos extremos de viga, se instalaron solo  $11,64 \text{ cm}^2$  de acero donde se requerían al menos  $17,06 \text{ cm}^2$  en zona de tramos y  $24,82 \text{ cm}^2$  en zona de extremos. Esta deficiencia vulneró la capacidad resistente de las vigas frente a los momentos flectores actuantes, lo que generó sobreesfuerzos, deformaciones excesivas y probable aparición de grietas estructurales.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

El análisis de estado límite de servicio confirmó el incumplimiento del criterio de deformación en el diseño original, ya que la deflexión obtenida fue de 0.01442 m, superando ampliamente el límite normativo de  $L/360$  (0.00778 m). Esta flecha excesiva afectó tanto la funcionalidad como la durabilidad de la estructura, evidenciando un comportamiento deficiente ante cargas gravitacionales comunes. En contraste, tras la propuesta de refuerzo, la deflexión se redujo a 0.000881 m, lo que representa solo el 11.3% del valor límite permitido, confirmando una mejora sustancial en rigidez y desempeño.

El modelo estructural en SAP2000 permitió identificar que las vigas del centro de la losa eran las más solicitadas, tanto en términos de momentos como de esfuerzos cortantes, lo cual justificó su análisis individual detallado y la focalización del refuerzo en estas zonas. Esta aproximación evidencia la importancia de la modelación tridimensional en estructuras de losa casetonada, donde la distribución de carga no es uniforme y los efectos de rigidez relativa entre vigas y losa son determinantes para una evaluación precisa.

La propuesta de reforzamiento fue definida a partir de criterios normativos y optimización de recursos disponibles, contemplando el aprovechamiento de las tres barras de 7/8" existentes y complementando con barras dispuestas en paquete hasta alcanzar 10 barras por cara, junto con una separación de estribos de 3/8" cada 5 cm en toda la longitud. Asimismo, se incorporaron 6 barras de 3/4" como armadura de piel para resistir la torsión evidenciada en el análisis. Esta intervención permitió restituir la capacidad estructural sin necesidad de demolición, manteniendo la integridad del sistema y adaptándose a las condiciones constructivas reales.

La estrategia de refuerzo, que incluyó la ampliación del ancho de viga a 60 cm y la revisión completa del modelo estructural, demostró ser efectiva no solo en términos de resistencia sino también

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

en control de deformaciones y torsión, cumpliendo con las exigencias establecidas por la NSR-10. Este caso evidencia la relevancia de realizar diagnósticos estructurales detallados y específicos ante fallos localizados, y confirma que una solución técnicamente fundamentada puede restablecer la funcionalidad estructural de manera efectiva y sostenible.

Se aclara que la situación del piso 2 por estos sobrepesos no afectan la resistencia de la placa en términos de cortante, pero aparentemente se ve comprometida la resistencia a la flexión en elementos como la torta superior e inferior y podrían evidenciarse a futuro con fisuras en las zonas de los casetones en la cara inferior.

Es recomendable revisar y actualizar las normativas locales de construcción para incluir guías más específicas sobre el uso de casetones de madera y lona en losas aligeradas, basándose en los hallazgos del estudio. Se sugiere adoptar prácticas de construcción más rigurosas y ajustar los procedimientos para prevenir problemas similares en futuros proyectos.

El estudio destaca la necesidad de un control de calidad riguroso durante todas las fases del proceso constructivo como implementando controles de calidad que incluyan la inspección minuciosa de los materiales de encofrado, asegurando que los casetones cuenten con la resistencia adecuada. Además, se debe llevar a cabo una revisión del diseño estructural para confirmar que las losas puedan soportar las cargas establecidas. Es igualmente importante controlar de manera rigurosa el vaciado del concreto para evitar sobrecargas que puedan deformar los casetones, y verificar la correcta instalación y alineación de estos. Asimismo, se aconseja realizar mediciones de espesor en distintos puntos de la losa, con el fin de asegurar que se mantengan dentro de los parámetros especificados y prevenir

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

acumulaciones de concreto que pongan en riesgo la estructura. La supervisión adecuada puede prevenir los errores detectados y garantizar la integridad estructural de las losas aligeradas.

Las losas de concreto aligeradas con casetones de madera y lona presentan una variación significativa en su comportamiento estructural debido a la calidad de los procesos constructivos. Los análisis revelaron que los errores en la colocación y compactación del concreto afectan la distribución de cargas y la resistencia de las losas.

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

### Lista de Referencia o Bibliografía

La información relacionada en el presente documento, fue rescatada de:

Agencia Nacional de Contratación Pública. (2023, marzo). Consulta de contratación estatal.

<https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/ContractNoticeManagement/Index?currentLanguage=es-CO&Page=login&Country=CO&SkinName=CCE>

Decreto 926/10, marzo 19, 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (Colombia).

Obtenido el 19 de marzo de 2023.

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2022, junio). Fallas en estructuras de concreto.

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/fallas-en-estructuras-de-concreto/>

Olazábal, IWC. y Traversa. (2023). Problemas en estructuras que afectan su estabilidad. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional.

<https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/553b6d7e-ad37-48b5-882f-3f711dbcda94/content>

García, R. (2014). Diseño y análisis de losas de concreto: El impacto de las cargas muertas y las deficiencias constructivas. Ediciones Técnicas de Ingeniería, 2ª edición. Recuperado de Google Scholar - Diseño y análisis de losas de concreto.

López, H., & Ramírez, P. (2020). El análisis de fallas estructurales en las losas de concreto por prácticas constructivas inapropiadas. Ingeniería en Construcción, 28(4), 289-299. Recuperado de

[ResearchGate - El análisis de fallas estructurales en las losas de concreto](#)

## VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

López, H., & Ramírez, P. (2020). El análisis de fallas estructurales en las losas de concreto por prácticas constructivas inapropiadas. *Ingeniería en Construcción*, 28(4), 289-299. Recuperado de [ResearchGate - El análisis de fallas estructurales en las losas de concreto](#)

González, C., & Pérez, M. (2018). El impacto de la carga muerta en el comportamiento de las losas de concreto. *Journal of Structural Engineering*, 34(1), 56-67. Recuperado de Google Scholar - El impacto de la carga muerta en el comportamiento de las losas de concreto.