

1

Análisis Comparativo De Dos Sistemas De Losa: Nervada Bidireccional Vs. Steel Deck En La Ciudad De Machala

ABSTRACT

*This study analyzes the structural and economic performance of two slab systems used in buildings in Machala (Ecuador): the bidirectional ribbed concrete slab and the steel-concrete composite deck slab. Through ETABS modeling and under local (NEC-SE) and international (ACI, AISC) codes, deformations, internal stresses, and unit costs were evaluated under gravitational loads. Results indicate that the steel deck slab exhibits lower costs per square meter (≈ 90 USD/m²) due to its reduced thickness (10 cm) and material optimization, while the bidirectional ribbed slab demonstrates superior deformation control in upper floors (≤ 18.33 mm), complying with the $*L/240*$ normative limit. Both systems meet shear resistance requirements, though the steel deck requires secondary beams to mitigate critical deformations.*

The research emphasizes that system selection depends on factors such as building height, applied loads, and budget. For commercial projects with economic constraints, the steel deck proves efficient, whereas the ribbed slab is ideal for residential or taller structures due to its rigidity and geometric adaptability. Technical recommendations include standardizing local catalogs for metal profiles, validating numerical models with empirical data to minimize discrepancies, and complementing designs with geotechnical studies in soft soils. This work provides evidence-based criteria to optimize the selection of structural systems in Machala, balancing safety, efficiency, and costs.

Keywords: construction, bidirectional ribbed slab, steel deck slab, Machala, structural systems

RESUMEN

*Este estudio analiza el desempeño estructural y económico de dos sistemas de losas empleados en edificaciones de Machala (Ecuador): la losa nervada bidireccional de hormigón y la losa steel deck de acero y hormigón. Mediante modelación en ETABS y bajo normativas locales (NEC-SE) e internacionales (ACI, AISC), se evaluaron deformaciones, esfuerzos internos y costos unitarios bajo cargas gravitacionales. Los resultados indican que la losa steel deck presenta menores costos por metro cuadrado (≈ 90 USD/m²) debido a su menor espesor (10 cm) y optimización de materiales, mientras que la losa nervada bidireccional exhibe mayor control de deformaciones en pisos altos ($\leq 18,33$ mm), cumpliendo el límite normativo $*L/240*$. Ambos sistemas cumplen con los requisitos de resistencia al cortante, aunque el steel deck requiere vigas secundarias para reducir deformaciones críticas.*

La investigación destaca que la selección del sistema depende de factores como la altura del edificio, las cargas aplicadas y el presupuesto. Para proyectos comerciales con restricciones económicas, el steel deck resulta eficiente, mientras que la losa nervada es idónea en estructuras residenciales o de mayor altura por su rigidez y adaptabilidad geométrica. Como recomendaciones técnicas, se sugiere estandarizar catálogos locales de perfiles metálicos, validar modelos numéricos con datos empíricos para minimizar discrepancias, y complementar los diseños con estudios geotécnicos en suelos blandos. Este trabajo proporciona criterios fundamentados para optimizar la elección de sistemas estructurales en Machala, equilibrando seguridad, eficiencia y costos.

Palabras claves: Construcción, losa nervada bidireccional, losa steel deck, Machala, sistemas estructurales.

1. INTRODUCCIÓN

Las losas son elementos estructurales vitales en las edificaciones, encargadas de soportar tanto las cargas gravitacionales como lo son las cargas útiles, garantizando la estabilidad general de la estructura [1]. Entre los dos sistemas de losa usados en esta investigación tenemos, las losas tipo deck —caracterizadas por su rapidez y eficiencia en grandes vanos— y las losas nervadas —priorizadas por su rigidez y su capacidad de adaptarse de mejor manera a geometrías complejas— [2].

La selección entre los sistemas de losa deck y nervada dependen de criterios técnicos, económicos y normativos, aunque estudios recientes revelan que su elección suele basarse en prácticas reales, incrementando riesgos como sobrecostos o vulnerabilidades estructurales [3].

En Machala, Ecuador, esta problemática adquiere relevancia particular. Las losas nervadas predominan en construcciones residenciales por su durabilidad, mientras que las losas deck se emplean en proyectos comerciales debido a su rapidez de instalación [4] [5]. Sin embargo, la elección del sistema de losa carece frecuentemente de análisis técnicos rigurosos, agravada por la informalidad en la planificación y el incumplimiento de normativas sísmicas. En zonas de alta actividad sísmica, como la región costera ecuatoriana, una elección inadecuada compromete no solo la integridad estructural, sino también la seguridad humana [3].

La presente investigación busca resolver dos interrogantes centrales: ¿qué sistema de losa —deck o nervada— logra el mejor compromiso entre resistencia estructural, coste y cumplimiento de normativas en Machala? y ¿De qué forma las herramientas de modelación estructural influyen en la validación técnica de estos sistemas? Para responder la primera interrogante, se aborda un análisis comparativo basado en modelos ETABS, donde se contrastan los esfuerzos internos, las deformaciones y el análisis de costos, todo ello bajo los estándares NEC, ACI y AISI. Y en la segunda interrogante, se examina mediante un proceso de verificación y validación de los modelos: se estudian variables como el refinamiento de la malla, los métodos de cálculo y los protocolos de chequeo para evaluar la precisión y confiabilidad que aportan las herramientas de modelación.

Con este esquema, la investigación no solo facilita la elección informada del tipo de losa, sino que también genera recomendaciones técnicas que minimizan riesgos y optimizan la inversión en proyectos urbanos.

1.1. Objetivos Y Alcance

Este estudio compara el comportamiento de los dos sistemas de losa —la losa nervada bidireccional y la losa steel deck— en un edificio tipo de Machala (Ecuador), empleando modelación estructural con ETABS. Se evalúan ante cargas gravitacionales a través de deflexiones, momentos flectores y esfuerzos de corte, tanto en la comparativa del diseño original como en la propuesta con ampliación vertical. Al diferir estos resultados con los límites establecidos por las normas, se busca ofrecer recomendaciones técnicas claras que faciliten la elección del sistema más eficiente y seguro.

El alcance que presenta la investigación está enfocado en un edificio de tres niveles y cuenta con un mezzanine, excluyendo el análisis de los efectos sísmicos, para mantener un enfoque en la comparación gravitacional. Los resultados presentados incluyen tablas comparativas de desempeño y gráfico del desempeño en los costos. Esto genera desconocimiento sobre factores que provocan fallos estructurales, poniendo en riesgo la seguridad siendo la escasa información sobre losas crea incertidumbre en el diseño [6].

2. METODOLOGÍA

La presente investigación emplea un enfoque cuantitativo-comparativo para evaluar el comportamiento de los sistemas de losa *deck* y nervada bidireccional en el Edificio Sánchez Aguilar como se indica en la figura 1, bajo cargas gravitacionales y normativas locales e internacionales. La metodología integra dos fases: una documental, que recopila criterios técnicos de normativas y estudios previos, y otra experimental, basada en simulaciones numéricas para replicar el diseño original (tres niveles) y proponiendo ampliaciones verticales. Por ende, los cambios que se presentan actualmente en el país por una mala elección de losa, por ello la importancia de realizar un análisis comparativo y determinar el comportamiento según las normativas con la ayuda del programa de computación Etabs [7].

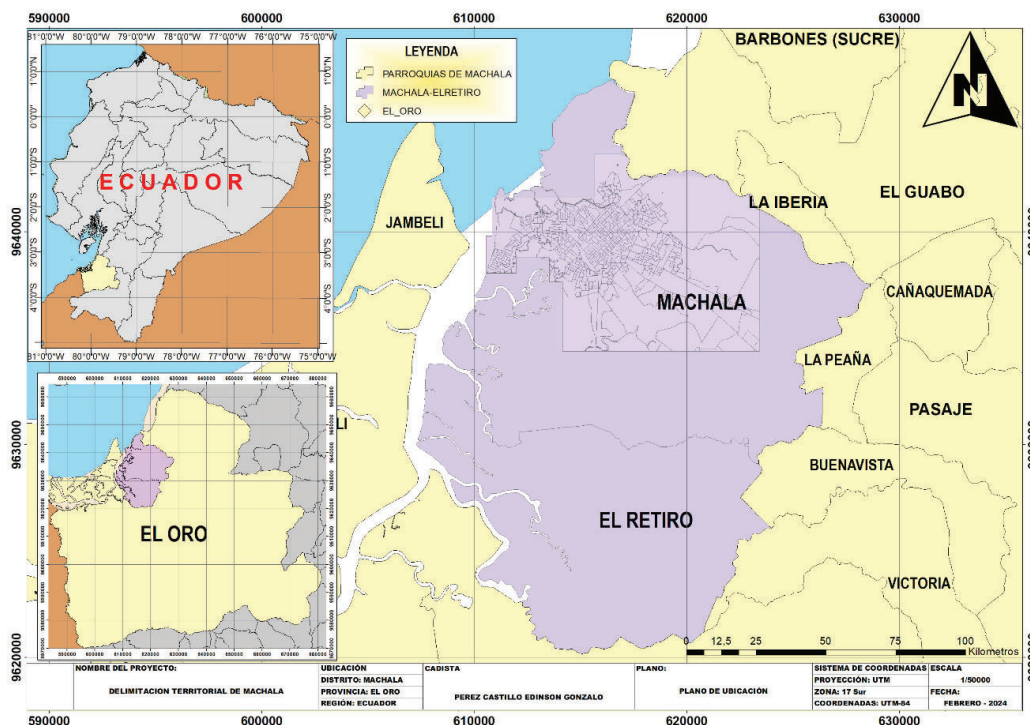


Fig. 1 - Zona de Estudio de la Edificación Machala, El Oro

Los modelos se construyen a partir de datos arquitectónicos y estructurales del edificio —hormigón armado y sistema mixto con placa colaborante—, recopilando datos de los planos de enero de 2020. Se excluyen efectos sísmicos, priorizando cargas gravitacionales (muertas y vivas) [8]. Para las losas nervadas, se aplican métodos teóricos como el Método de los Coeficientes (ACI) como indica las tablas 1,2 y 3, que determinan momentos positivos y negativos mediante ecuaciones y tablas de referencia, considerando condiciones de apoyo y distribución de cargas. Esta metodología simplifica el diseño estructural, garantizando que la losa nervada distribuya eficientemente las cargas gravitacionales y cumpla con los límites de deformación (*L/240*) y resistencia al cortante, tal como se validó en el modelo ETABS del estudio.

Tabla 1- Coeficiente para momento Negativo (Caso 2)

COEFICIENTES PARA MOMENTO NEGATIVO EN LA LOSA		
Relación		Caso 2
$m = \frac{L_{corto} \rightarrow (L_a)}{L_{largo} \rightarrow (L_b)}$		
0,95	$C_{a,neg}$	0,050
	$C_{b,neg}$	0,041

Tabla 2- Coeficiente para momento Positivo (CM) (Caso 2)

COEFICIENTES PARA MOMENTO POSITIVO DE CARGA MUERTA		
Relación		Caso 2
$m = \frac{L_{corto} \rightarrow (L_a)}{L_{largo} \rightarrow (L_b)}$		
0,95	$C_{a,pos Dl}$	0,020
	$C_{b,pos Dl}$	0,0016

Tabla 3- Coeficiente para momento Positivo (CV) (Caso 2)

COEFICIENTES PARA MOMENTO POSITIVO DE CARGA VIVA		
Relación		Caso 2
$m = \frac{L_{corto} \rightarrow (L_a)}{L_{largo} \rightarrow (L_b)}$		
0,95	$C_{a,pos LL}$	0,030
	$C_{b,pos LL}$	0,0025

Para la validación del modelo se empieza primero calculando de manera analítica los valores obtenidos de la deflexión, momentos flectores y los esfuerzos de corte según lo requerido en la norma, con dichos parámetros se simulan en el software ETABS bajo las mismas condiciones de carga. Por lo cual se comparan los resultados teóricos y de simulación para detectar las discrepancias y después se ajusta de manera interactiva la geometría (espesor de losa, nervaduras) y respectivamente los refuerzos de acero. De esta manera se mantienen las deformaciones dentro de los límites permitidos en las normas.

Se organizaron los datos en tablas comparativas y en gráficos que muestran cómo se reparte el esfuerzo, ya que el estudio de la falla por cortante en vigas de hormigón ha cobrado mucha importancia, tanto por las recientes actualizaciones de las normas como por el uso cada vez más frecuente en secciones más profundas del diseño estructural [9]. El análisis no se limita a estructuras en los suelos blandos de Machala [10], y por lo cual tiene aplicabilidad a proyectos de características similares, y enfatiza la optimización de diseños mediante lineamientos técnicos basados en evidencia numérica y normativa vigente.

2.1. Datos Y Estructura

El estudio analiza la eficiencia de dos sistemas de losas de entrepiso —losas nervadas bidireccionales y losas deck— en un edificio de 4 pisos de hormigón armado, considerando su comportamiento estructural y eficiencia constructiva. El edificio, diseñado para uso habitacional, presenta una altura variable entre plantas: 5,22 m en los niveles inferiores y 3,42 m en los superiores, alcanzando una elevación máxima de 15,48 m como se indica en la figura 2. Las losas nervadas se destacan por su rigidez y adaptabilidad a configuraciones complejas, mientras que las losas deck o compuestas son más populares debido a su estructura liviana, ahorro de costos y su rápido tiempo de construcción [11].

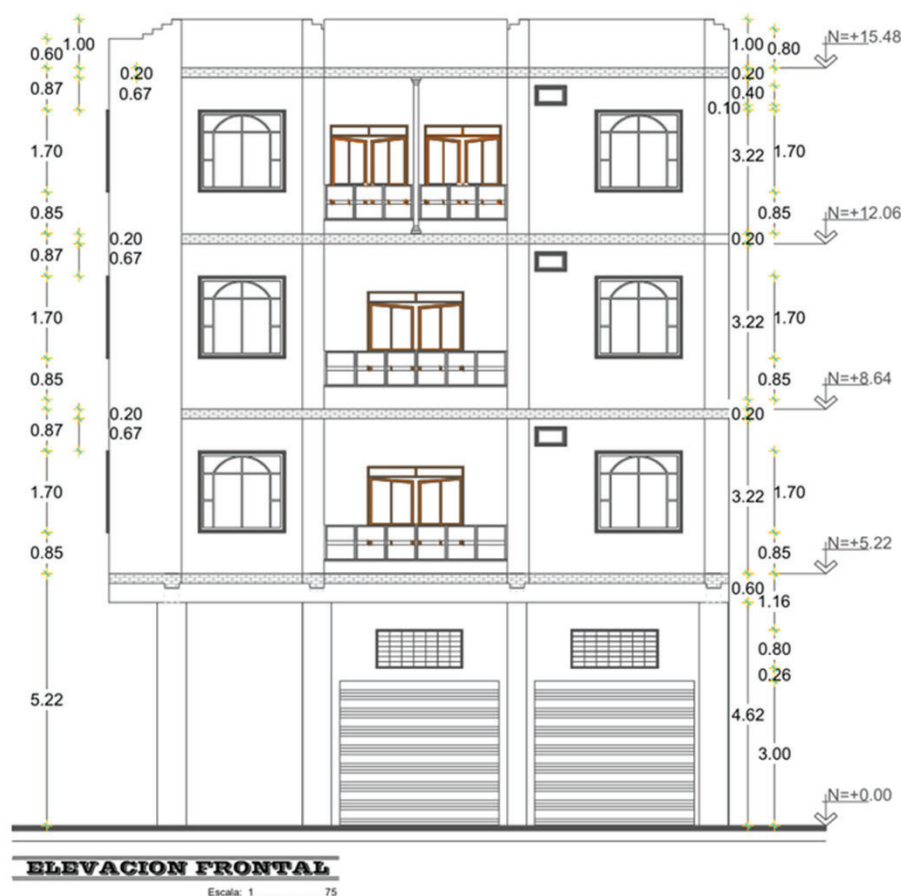


Fig. 2- Modelo del Edificio

Además de las características arquitectónicas, el análisis incorpora el uso específico de cada nivel (Tabla 4): la planta baja alberga locales comerciales, los pisos 1 y 2 contienen departamentos, la terraza incluye un departamento adicional, y el mezzanine funciona como cubierta. Esta distribución condiciona las cargas aplicables, requiriendo una evaluación diferenciada de cada sistema de losas según las exigencias estructurales y funcionales de cada espacio.

Tabla 4- Uso de la estructura

PISO	USO
PB	Locales comerciales
P1	Departamentos
P2	Departamentos
TERRAZA	Departamento
Mezzanine	Cubierta

2.2. Predimensionamiento

Para un edificio se han considerado las siguientes cargas: 200 kg/m² para el uso de cargas vivas en todos los niveles, y las cargas muertas que varían según el nivel esto se debe a su diferencia de áreas por metro cuadrado de cada piso, para obtener las cargas muertas consideramos los pesos propios de la Mampostería, enlucido, recubrimiento, instalaciones y alivianamiento, sumándolos y obteniendo la carga muerta de cada piso, en losas deck no se consideran los alivianamientos, considerando un ejemplo del primer piso como se muestra en la tabla 5. — 450 kg/m² en el primer piso, 350 kg/m² en el segundo y tercer piso, y 300 kg/m² en el mezzanine. Estos valores se establecen tomando en cuenta el área cubierta, los volúmenes y la densidad de los materiales para la edificación de hormigón Armado. El cambio que varía con una edificación con entrepiso de losa deck en sus cargas se indica la tabla 6.

Tabla 5- Carga Muerta

PESO PROPIO PRIMER PISO			
	Datos:	Formulas:	Resultados
Mampostería	Longitud de pared = 75,75 m	Área de mampostería = Longitud de Pared x Altura de Pared	395,42 m
	Altura de pared = 5,22 m	# Bloques = Área de mampostería x 12	4744,98 bloques
	Área Planta = 302,95 m ²	W Mampostería = # Bloques x 12	56939,76 kg
		PP mampostería = W mampostería / Área Planta	187,95 m
Enlucido	Espesor = 0,04 m γ _{HS} = 2100 kg/m ³	PP Enlucido = 1 x 1 x espesor total x γ _{HS}	84 kg/m ²
Recubrimiento	Espesor = 0,02 m γ _{HS} = 2100 kg/m ³	PP Enlucido = 1 x 1 x espesor total x γ _{HS}	42 kg/m ²
Instalaciones		Se uso un Valor empírico	5 kg/m ²
Alivianamiento	Ancho del alivianamiento = 0,40 m Altura del alivianamiento = 0,15 m γ _{aliv} = 850 kg/m ³	(4) x (ancho del alivianamiento) ^2 x (altura) x (γ _{aliv})	81,6 kg/m ²
PP – PRIMER PISO (CARGA MUERTA) =		(Mampostería + Enlucido+ Recubrimiento + Instalaciones + Alivianamiento)	450 kg/m ²

Tabla 6- Carga Viva y Muertas del Edificio

CARGAS GRAVITACIONALES					
LOSA NERVADA BIDIRECCIONAL				LOSA DECK	
CARGA MUERTA	Piso 1	450	kg/m ²	350	kg/m ²
	Piso 2	350	kg/m ²	300	kg/m ²
	Piso 3 (TERRAZA)	350	kg/m ²	300	kg/m ²
	Piso 4 (MEZZANINE) - CUBIERTA	300	kg/m ²	300	kg/m ²
CARGA VIVA	[CV] vivienda – (NEC-SE-CG; Cargas no sísmicas)	200	kg/m ²	200	kg/m ²
CARGAS SISMICAS – NO SON CONSIDERADAS					

En cuanto a las propiedades de los materiales, el hormigón presenta un peso volumétrico de 2400 kg/m³, donde f'_c es la resistencia a la compresión del hormigón, fijada en 210 kg/cm². El acero empleado tiene un esfuerzo de fluencia de 4200 kg/cm², con el peso volumétrico del acero de 7850 kg/m³ y un alivianamiento de 850 kg/m³, y el módulo de elasticidad del hormigón se calcula mediante la ecuación (1).

$$E_c = 15100 \times \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

La estructura se configura con un espaciamiento entre ejes en la dirección [X] de 4,07 m; 4,19 m; 2,96 m y la dirección [Y] de 2,97 m; 4,38 m; 3,40 m; 4,23 m; 4,10 m y 3,42 m, considerando que en ambos ejes poseen volados de 1,3 m por lo que se puede observar que es un edificio irregular como se ven en las figuras 3,4. Las dimensiones de altura de entre piso podemos observar en la figura 2. Las columnas más grandes y pequeñas ubicadas en cada nivel como las dimensiones de las vigas se observan en la tabla 7.

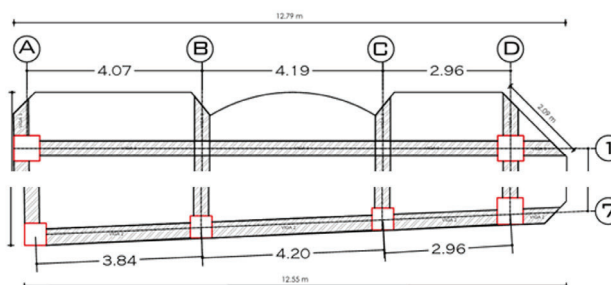


Fig. 3- Dimensiones en el eje X – 1 y X-7

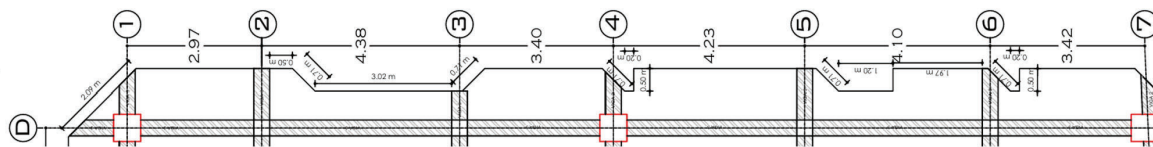


Fig. 4- Dimensiones en el eje Y

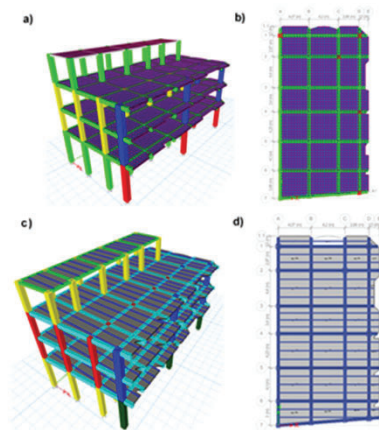
Tabla 7- Materiales y Dimensiones del Edificio.

MATERIALES			
$f'_c =$	210	kg/cm ²	Resistencia a la compresión del hormigón
$F_y =$	4200	kg/cm ²	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
$\gamma_c =$	2400	kg/cm ³	Peso volumétrico del hormigón
$\gamma_s =$	7850	kg/cm ³	Peso volumétrico del acero
$\gamma =$	850	kg/cm ³	Peso volumétrico del alivianamiento
$E_c =$	218819,79	kg/m ²	Módulo de Elasticidad del hormigón
DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA			
Col. C1.	60 x 60	cm	Columnas grandes ubicadas en la PB y MEZZ.
Col. C2.	50 x 50	cm	Columnas pequeñas ubicadas en la PB y MEZZ.
Col. C1-1	60 x 60	cm	Columnas grandes ubicadas en la P1 y P2.
Col. C2-1	45 x 45	cm	Columnas pequeñas ubicadas en la P1 y P2.
Viga Tipo 1	35 x 15	cm	Vigas ubicadas solo en el Mezzanine
Viga Tipo 2 y 3	35 x 40	cm	Vigas ubicadas en todo el edificio.
VIGA IPE 160	16 x 8,2	cm	Perfil metálico en vigas secundarias IPE 160

En cuanto a las losas, se utiliza un sistema de losas nervadas bidireccionales con un espesor de 0,20 m desde la planta baja hasta el tercer nivel, reduciéndose a 0,15 m en el cuarto nivel (mezzanine), se reduce debido a que se considera como una cubierta sin acceso a ella tal como se encuentran en los planos. Por otro lado, la losa con placa colaborante (steel deck) cuenta con un espesor uniforme de 0,10 m en todos los niveles, como lo indica la tabla 8. Estas son apoyadas sobre vigas que transmiten sus cargas a las columnas y cimentaciones [12]. También podemos apreciar las estructuras modeladas en ETABS en la figura 5.

Tabla 8- Espesor de losas en la Edificación

	ESPESOR DE LAS LOSAS			
	Losa nervada 2 direcciones		Losa steel deck	
Piso 1	20	cm	10	cm
Piso 2				
Piso 3 (TERRAZA)				
Piso 4 (MEZZANINE)	15	cm		



2.3. Normativas Usadas

El estudio de las normativas AISC 360, NEC-SE y ACI 318 permite entender los criterios técnicos que influyen en el diseño de losas sometidas a cargas gravitacionales, garantizando su seguridad y funcionalidad. La evaluación considera parámetros clave como las cargas vivas y muertas especificadas por la NEC-SE (según el uso de cada nivel), los requisitos de resistencia del hormigón (f_c) y acero (F_y) establecidos en el ACI 318 para la losa nervada bidireccional, y las disposiciones de la AISC 360 para la losa deck, enfocadas en la capacidad portante del perfil metálico de la viga secundaria de acero y la interacción con la lámina colaborante. Además, se analizan los factores de seguridad, las combinaciones de carga y los límites de deflexión admisibles ($L/360$ para cargas vivas), para optimizar el espesor, y los costos sin comprometer la estructura; no se incluyó la carga de viento debido a que su efecto en losas interiores es mínimo.

2.4. Elaboración del modelo mediante el software ETABS 2

Se usó el programa ETABS 21 para recrear el modelo del edificio en 3D resaltando los dos tipos de losas (nervada bidireccional y deck), pero en diferentes casos, verificando que cumplan con las normativas. Siendo que para el modelado se procedió a crear los ejes del mallado en x & y, también seleccionando el número de pisos, dándoles su respectivo nombre como lo muestra la figura 6. La estructura fue modelada según el análisis estático para coincidir con el uso correcto de las cargas. Se analizó cómo se distribuyen las cargas en cada piso según su uso, asegurando que las losas no se deformen.

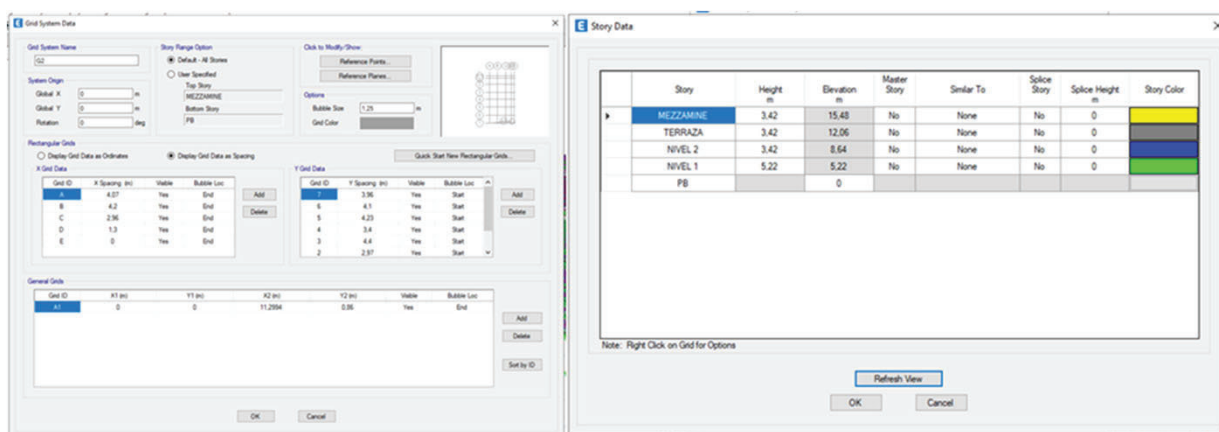


Fig. 6- Mallado y número de pisos

2.5. Análisis Comparativo Entre Losas

El análisis comparativo se realizó estableciendo variables fundamentadas en los parámetros de las normas previamente descritas, centrando la evaluación en las fuerzas máximas de diseño —incluyendo el momento flector, la fuerza cortante y las deflexiones de entrepiso— y considerando los costos de los materiales usados en cada una de las losas. Este enfoque permite valorar no solo la capacidad estructural de cada sistema, sino también su eficiencia económica, lo que resulta esencial para tomar decisiones fundamentadas en criterios técnicos y financieros que garanticen la seguridad y viabilidad de las soluciones de diseño.

2.6. Diseño Estructural de entrepiso

El diseño estructural para el análisis comparativo entre el sistema de losa nervada bidireccional y el sistema deck en la ciudad de Machala se realizó considerando únicamente la carga última. Para ello, se emplearon los fundamentos del diseño en hormigón armado según las normas ACI 318-19, asegurando un comportamiento dúctil adecuado ante grandes deformaciones. Cada elemento estructural —losa nervada, columnas y vigas— fue calculado mediante cálculos y el programa Etabs 21, tomando en cuenta requisitos técnicos, factores de seguridad, verificaciones y cuantías de refuerzo. Además, se evaluaron aspectos como la eficiencia estructural, la distribución de cargas.

3. RESULTADOS

3.1.. Losa Nervada Método 3 – Normas ACI 318 - 14

Se usó el Método 3 del ACI 318-14, normalmente usado para losas macizas, porque esta permite obtener rápidamente los momentos máximos con tablas de coeficientes según la forma y apoyos de la losa. Para adaptar este método a una losa nervada, se calcula primero un “ancho efectivo” que convierte la rigidez de las nervaduras en una franja de losa equivalente; así, al aplicar los coeficientes (C) de la tabla, los valores de momentos positivos y negativos ya incluyen el aporte de las nervaduras. De esa forma se combina la sencillez del Método 3 con la contribución real de las vigas inferiores de la losa nervada.

Los momentos negativos se calcularon multiplicando los coeficientes por la carga total mayorada (fórmula 2), mientras que los positivos separaron las cargas muertas (WD) y vivas (WL), aplicando coeficientes específicos a cada una. Esto aseguró que la losa resista las cargas de uso sin superar sus límites de resistencia, usando fórmulas validadas por normativas como el ACI. Representadas la figura 7 las dimensiones del panel. Los momentos positivos no se hace igual a los negativos esto se debe a las tablas que nos provee la norma y sus respectivas fórmulas.

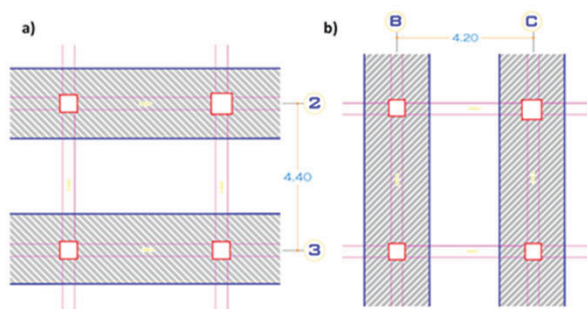


Fig. 7- a) lado más largo del panel (4,40 m), b) El lado más corto del panel (4,20 m). (paño crítico)

Se determinó con los datos propuesto, los momentos positivos y negativos en la longitud larga como indica la tabla 9 y con dichos datos se obtiene el acero de la losa.

Tabla 9- Momentos en la longitud más larga

MOMENTOS DE LONGITUD LARGA		
MOMENTO NEGATIVO	MOMENTO POSITIVO	
$M_{b,neg} = C_{b,neg} \cdot W \cdot Lb^2$	CARGA MUERTA	CARGA VIVA
	$C_{b,dl} \cdot W_d \cdot Lb^2$	$C_{b,ll} \cdot W_l \cdot Lb^2$
	1640,36 N-m	1215,04 N-m
$M_{b,neg} =$	$M_{b,pos} =$	
6694,31 N - m	2855,40 N - m	

Se procedió a calcular los momentos positivos y negativos de la longitud corta del panel, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10- Momentos en la longitud más corta.

MOMENTOS DE LONGITUD CORTO		
MOMENTO NEGATIVO	MOMENTO POSITIVO	
$M_{a,neg} = C_{a,neg} \cdot W \cdot La^2$	CARGA MUERTA	CARGA VIVA
	$C_{a,dl} \cdot W_d \cdot La^2$	$C_{a,ll} \cdot W_l \cdot La^2$
	1868,26 N-m	1660,66 N-m
$M_{a,neg} =$	$M_{a,pos} =$	
7438,54 N - m	3528,92 N - m	

Con los datos se procedió a realizar las deflexiones presentes en el paño crítico de la losa, en la tabla 11. Para los cálculos se procedió calculando las deflexiones instantáneas producidas por las cargas de servicio, las deflexiones por el momento negativo y momento positivo en el paño del lado más largo, con este resultado sumando las deflexiones a largo plazo más las deflexiones instantáneas se obtiene la deflexión total calculada, como se muestran en las ecuaciones 2,3,4:

$$\Delta = (5 \times W \times L^4) / (384 \times E_s \times I_e) \quad (2)$$

$$\Delta_2 = (M_a \times L^2) / (16 \times E_s \times I_e) \quad (3)$$

$$\Delta_3 = (M_b \times L^2) / (16 \times E_s \times I_e) \quad (4)$$

Tabla 11- Deflexiones por norma de Losa H.A.

DEFLEXIONES DE LOSA		
Δ_{total}	0,024 cm	Deflexión total calculada
Δ_{adm}	1,833 cm	Deflexión máxima propuesta ACI 318

Asimismo, los resultados obtenidos conforme a la norma se complementan con las deflexiones calculadas mediante el software, tal como se muestra en la Tabla 13. Al tratarse del análisis de un conjunto de losas, estos datos servirán de referencia para comparar y determinar los esfuerzos y las deflexiones máximas [13]. Según el ACI 318-14, en la Sección R24.2.2, las deflexiones máximas en losas macizas y nervadas se debe calcular según el rango que varía de $L/180$ a $L/480$, dependiendo del uso específico de la losa, como se indica en la tabla 12. Esto implica que no se incluyó explícitamente la pérdida de rigidez por fisuración del hormigón ni los efectos a largo plazo (como fluencia y contracción bajo cargas sostenidas). Las combinaciones de cargas mayoradas se realizan para que la estructura no solo cumpla los requisitos de resistencia, sino los límites de servicio bajo condiciones críticas.

Tabla 12- Deflexión máxima admisible calculada.

MIEMBRO	CONDICIÓN		DEFLEXION CONSIDERADA	LIMITE DE DEFLEXIÓN
Techos o Entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes	La parte de la deflexión total que ocurre después que los elementos no estructurales se ligan (la suma de la deflexión a lo largo plazo debido a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional.)	L/480
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes		L/240

Tabla 13- Deflexión máxima en losa H.A en ETABS

TIPO DE LOSA	ESPESOR DE LOSETA (m)	L (m)	DEFLEXIÓN MÁXIMA (mm)			δ_{max} (mm)	Condición	CARGAS
			Losa central	Losa Lateral	Losa esquinera	L/240	Defl max $\leq$ L/240	
LOSA NERVADA A PISO 1	0,20 m	4,40	5,981	13,171	4,802	18,33	OK	DEAD
			1,531	3,628	1,188		OK	LIVE
			7,512	16,079	5,960		OK	CM+CV
PISO 3	0,20 m	4,40	5,598	8,894	5,751	18,33	OK	DEAD
			1,600	2,828	1,593		OK	LIVE
			7,198	14,386	7,318		OK	CM+CV
MEZZANINA	0,15 m	4,40	14,886	11,371	12,399	18,33	OK	DEAD
			2,522	1,887	2,168		OK	LIVE
			17,389	13,275	15,155		OK	CM+CV

Se presentan los resultados de deflexiones de losas nervadas de hormigón armado evaluados mediante dos métodos: por norma y a través del software ETABS. En el método normativo se obtiene una deflexión total de 0,024 cm frente a una máxima admisible de 1,833 cm (18,33 mm), lo que demuestra el cumplimiento de la normativa, mientras que la tabla de ETABS detalla los valores de deflexión máxima en puntos estratégicos (central, lateral y esquina) comparados con los límites de L/240, se observa que la mayoría de las deflexiones cumplen con los límites de servicio, solo unas pocas combinaciones lo superan ligeramente, sin que se ponga en riesgo la estabilidad de la estructura, considerando que las diferencias entre los cálculos manuales según la norma y el resultado obtenido de Etabs son esperables, pues en la norma se emplea formulas simplificadas, mientras el software modela con más lujo de detalles, captando de mejor manera el comportamiento real.

Esfuerzos Cortantes de Losa Nervada

Para garantizar que la losa soporte las cargas sin fallar, se calculó la fuerza cortante máxima (V_u) que actúa en la zona crítica, considerando un ancho de 1 metro. Con los datos obtenidos de la siguiente tabla 14.

Tabla 14- Fuerza Cortante Losa H.A.

DATOS		
q	860 kg/m ²	Carga Última distribuida
b	20 cm	Espesor de losa
rec	3 cm	Recubrimiento de la losa
d	17 cm	Peralte de la losa
f _c	210 kg/cm ²	Resistencia del hormigón
Φ	0,75	factor de reducción de cortante
RESULTADOS		
V _c	2611,35 kg/cm ²	Esfuerzo cortante que soporta el hormigón
V _u	944,05 kg/cm ²	Fuerza Cortante último
ΦV_c	2219,647 kg/cm ²	Esfuerzo cortante

Se verificó que el hormigón resiste sin necesidad de refuerzo adicional (2219,65 kg ≥ 944,045 kg), cumpliendo así los requisitos de seguridad.

3.2. Análisis de Losa Steel Deck

La configuración de la losa Deck se basó en especificaciones técnicas proporcionadas por proveedores, adaptadas al edificio de hormigón armado en estudio. Se integraron vigas secundarias para optimizar la distribución de cargas, evaluando parámetros como la máxima luz admisible sin apuntalamiento, el volumen de hormigón requerido, la carga viva sobreimpuesta y el espaciamiento entre apoyos. Estos criterios aseguraron un equilibrio entre la capacidad estructural, eficiencia material y cumplimiento de las exigencias funcionales del proyecto, a continuación, se mencionan los parámetros en la tabla 15 obtenidos de la ficha técnica de Kubiec-Kubilosa.

Tabla 15- Parámetros de lámina deck del proveedor (Kubilosa)

PROPIEDADES DEL PANEL					
ESPESOR	PESO [As _{sd}]	Ls (+)	Ls (-)	Ss (+)	Ss (-)
(mm)	(				

Se usaron especificaciones como un espesor total de 10 cm y un perfil metálico de 0,65 mm. Para garantizar su desempeño estructural, se evaluaron parámetros: propiedades del material (Módulo del acero Es = 2040 kg/m² y del hormigón f'c = 210 kg/cm²), capacidad de deformación (Ec), cargas distribuidas (Wwsd =100 kg/m²), cargas puntuales (Psd = 225 kg), y dimensiones críticas (luz libre lsd=1,10 m, altura del hormigón en el perfil hr = 5 cm, y posición del centroide ycg = 2,29 cm). Además, se verificó la interacción acero- hormigón, el peso propio (WD sd= 320 kg/m), y la estabilidad bajo cargas de servicio, asegurando que el sistema cumpla con los requisitos de resistencia y rigidez. Estos criterios, junto con el análisis del equilibrio de fuerzas y la optimización geométrica, que consolida las variables técnicas esenciales para el diseño eficiente de la losa.

Con dichas consideraciones de diseño se puede obtener en primer caso las deflexiones que se presentan la losa deck por normas, calculando desde primer punto las deflexiones inmediatas presentes en la ecuación 5, las deflexiones a largo plazo, en la ecuación 6, y se obtiene la deflexión total la suma de las dos ecuaciones anteriores, ecuación 7, como lo indica la tabla 16:

$$\Delta'st = (5 \times W \times L^4)/(384 \times Ec \times I_e) \tag{5}$$

$$\Delta_{LT} = \Delta'st [2 - 1,2 \times (A's/As sd)] \tag{6}$$

$$\Delta_{total} = \Delta_{LT} + \Delta'st \tag{7}$$

Tabla 16- Deflexiones de losa Deck

DEFLEXIONES DE LOSA DECK		
Δtotal	0,11 cm	Deflexión total calculada
Δadm	1,83 cm	Deflexión máxima admisible (L/ 240)
La deflexión obtenida no es mayor a la deflexión máxima admisible, propuesta en la norma		

Se determinan los momentos, mediante los esfuerzos de tensión por flexión en el sistema no compuesto, considerando las cargas puntuales y distribuidas el cálculo obtenido de momentos se representa en la siguiente tabla 17.

Tabla 17- Esfuerzos y Momentos de Losa Deck

ESFUERZOS DE TENSIÓN POR FLEXIÓN EN EL SISTEMA NO COMPUESTO			
MOMENTO POSITIVO	M (+)	842,29	Momento positivo en la lámina no compuesta (N-m)
	M (+)	478,37	
MOMENTO NEGATIVO	M (-)	583,10	Momento negativo en la lámina no compuesta (N-m)
ESFUERZOS	f+	893,83	Esfuerzo positivo en la lámina (kgf/cm ²)
	f-	408,94	Esfuerzo negativo en la lámina (kgf/cm ²)
CUANTIAS	pb	0,0274	Cuantía balanceada
	p	0,0083	Cuantía calculada
RESULTADOS			
MOMENTOS	Mn	11504,67	Momento Nominal (N-m)
	Md	10354.25	Momento de Diseño (N-m)

El que los esfuerzos reales en la lámina (893,83 kg/cm² en positivo y 408,94 kg/cm² en negativo) sean menores que el 60% de la resistencia a fluencia del acero ($0,6 \cdot f_y = 1521,82 \text{ kg/cm}^2$) indica que el material opera dentro de su rango elástico, evitando deformaciones plásticas y garantizando seguridad bajo cargas de servicio. Esto cumple con normativas como el AISC 360, que limita los esfuerzos admisibles para prevenir fallas prematuras, y refleja un diseño conservador con margen para soportar cargas imprevistas. Aunque sugiere potencial para optimizar el espesor o refuerzo, el criterio asegura durabilidad y funcionalidad en condiciones reales.

Diseño por Cortante

El diseño por cortante en losas colaborantes Deck se enfoca en garantizar que la interacción entre el perfil metálico y el hormigón resista las cargas verticales sin fallas. Para esto, se evalúa la capacidad del acero (contribución del deck) y del hormigón (resistencia al aplastamiento) mediante normativas como el AISC 360. Se verifica que la fuerza cortante máxima (V_u), no supere la resistencia proporcionada por el sistema (ϕV_n), donde ϕ es el factor de reducción (típicamente 0,75). Además, se considera la geometría del perfil trapezoidal (altura del nervio, espesor del acero) para obtener el A_c , la adherencia proporcionada por las losas del deck y la posible necesidad de conectores de corte para evitar el deslizamiento. Este análisis asegura que la losa mantenga su integridad bajo esfuerzos tangenciales, evitando fisuras o desprendimientos, y cumpla con los límites de seguridad y funcionalidad requeridos, los resultados se mostraran en la siguiente tabla 18.

Tabla 18- Resultado de diseños por cortante

DISEÑO POR CORTANTE					
V_n	4216,56 kg	Cortante nominal	V_u	1386 kg	Cortante entre los apoyos

Después de haber multiplicado el coeficiente de reducción por corte con la cortante nominal se obtiene la cortante entre apoyos menor a la cortante nominal. Se puede observar a una viga de sección compuesta a la siguiente figura 8.

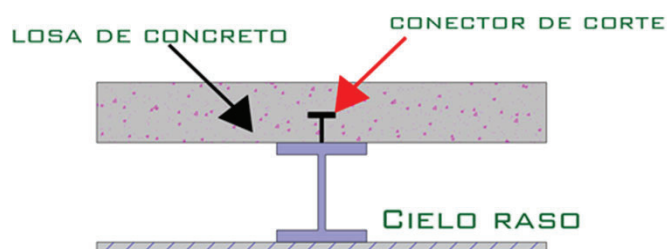


Fig. 8- Viga de Sección Compuesta.

Considerando los resultados obtenidos mediante norma se puede realizar una comparativa con los datos obtenidos por el software a continuación la siguiente tabla 19, se compara tal cual se mencionó en la tabla 12.

Tabla 19- Deflexión Máxima de la losa Steel Deck en vigas secundarias

TIPO DE LOSA	ESPESOR DE LOSETA (m)	L (m)	DEFLEXIÓN MÁXIMA (mm)	δ_{max} (mm)	CONDICIÓN	CARGAS
				L/ 240	Defl max $\leq$ L/240	
Steel Deck P1	0,10	4,40	3,579	18,33	OK	DEAD
			3,452		OK	LIVE
			3,521		OK	CM+CV
Steel Deck P3	0,10	4,40	3,521	18,33	OK	DEAD
			3,452		OK	LIVE
			3,521		OK	CM+CV
Steel Deck P4	0,10	4,40	3,105	18,33	OK	DEAD
			2,756		OK	LIVE
			3,105		OK	CM+CV

En el análisis comparativo, tanto la evaluación normativa como el análisis realizado en ETABS muestran que las deflexiones de las losas deck se encuentran muy por debajo de los límites permitidos. La norma establece un máximo de 1,222 cm, mientras que ETABS arrojó una deflexión total de apenas 0,011 cm. Además, las deflexiones bajo cargas (muerta, viva y combinadas) cumplen con el criterio de $\Delta_{max} \leq L/360$, lo que confirma la robustez y adecuación del diseño estructural de las losas

3.3. Resultados De Costos

Se aplicaron las normas para garantizar la seguridad y al mismo tiempo optimizar costos, calculando el precio por metro cuadrado a partir del costo del hormigón (para columnas, vigas y losas), la lámina metálica Deck, el acero corrugado y la malla electrosoldada, los alivianamientos, la estructura metálica (vigas IPE), pernos y placas de anclaje; además, se incluyeron los gastos de encofrado y desencofrado y los de mano de obra y equipo, todos obtenidos de índices oficiales (INEC–IPCO, APUS) y catálogos de proveedores.

De tal manera que la figura 9 muestra una comparación de costos por metro cuadrado entre las losas nervadas (espesor 0,20 m) y las losas Deck (espesor 0,10 m) en diferentes niveles del edificio. Los costos de las losas nervadas resultan consistentemente más altos que los de las losas Deck, reflejando su mayor espesor y uso de materiales. Por ejemplo, en el primer piso la losa nervada alcanza un costo de \$117,80, mientras que la Deck se mantiene en \$ 90,60. Esta diferencia persiste en pisos superiores, aunque se reduce ligeramente en el mezanine (\$98,24 vs. \$90,41). Las losas Deck ofrecen ahorros significativos sin comprometer funcionalidad en áreas con menores cargas estructurales.

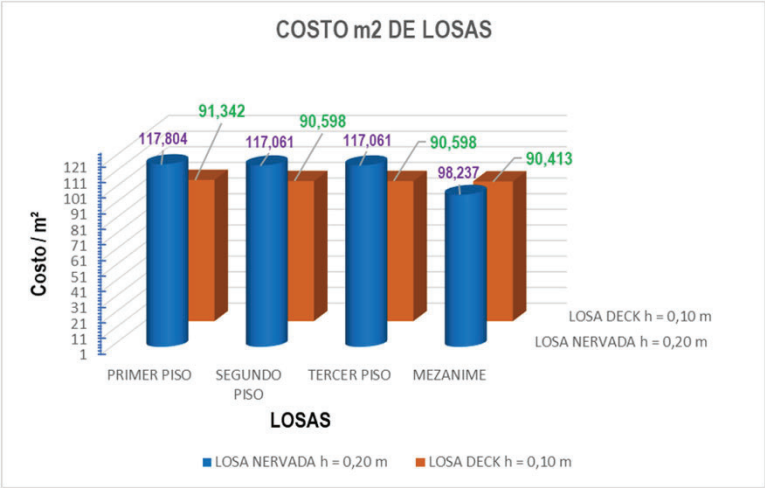


Fig. 9- Comparativa de costos m² losa deck y losa nervada

Como punto aparte del diseño estructura los costos se asocian destacando que el sistema nervado bidireccional proporciona una distribución más uniforme de las cargas, mientras que el sistema deck ofrece ventajas en rapidez constructiva y reducción del peso propio, lo que resulta fundamental para optimizar la selección del sistema más adecuado en función de las condiciones y necesidades específicas de Machala.

4. CONCLUSIONES

- El análisis mediante ETABS demostró que el sistema de losa steel deck presenta un costo unitario significativamente aproximado de 90 USD/m², frente a la losa nervada bidireccional aproximada de 117 USD/m², esto debido a su menor espesor 10 cm vs 20 cm, y la optimización de materiales. Sin embargo, la losa nervada demostró un mejor control de deformaciones en pisos altos (deflexiones máximas $\leq 18,33$ mm), cumpliendo con el límite normativo $*L/240*$ (ACI 318-14). Esta ventaja se debe a su rigidez y distribución equilibrada de las cargas gravitacionales, lo que la hace perfecta para edificios con alturas variables encontradas en Machala. Ambos sistemas cumplieron los requisitos de resistencia al cortante, validando su seguridad bajo cargas de servicio.
- La incorporación de vigas secundarias redujo las deformaciones críticas en la losa steel deck, mientras que, en la losa nervada, al incluir la adición de columnas centrales estas pueden disminuir las deflexiones presentes. Estos ajustes mejoran su respuesta estructural y garantizan el cumplimiento de los límites de la NEC. Para evitar discrepancias en modelos numéricos, se recomienda que se validen los resultados de ETABS con mediciones empíricas, dado que las simplificaciones teóricas pueden ignorar los esfuerzos locales.
- La elección entre losa tipo steel deck y losa nervada bidireccional debe hacerse en función de la finalidad y condición de cada proyecto. Para edificios comerciales con presupuesto y tiempo limitados, el steel deck es más barato y rápido de instalar, mientras que para edificios residenciales o de gran altura, las losas nervadas son más rígidas y adaptables a condiciones de suelo complejas, especialmente suelos blandos; sin embargo, este estudio no abordó las interacciones suelo-estructura, y se recomienda que el diseño se complemente con estudios de ingeniería geotécnica locales y pruebas de carga en el sitio.

1. López Guzmán Leonel Ivannovich, "Estudio del Comportamiento de Losas de Lámina y Concretos de Anthidrita Bajo Cargas Gravitacionales-Edición Única," INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY, Monterrey N L, 2003. Accessed: Feb. 02, 2025. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11285/568931>
2. W. W. dos Santos et al., "Comparative Analysis between Ribbed and Steel Deck Slabs," International Journal of Advanced Engineering Research and Science, vol. 7, no. 7, 2020, doi: <https://doi.org/10.22161/ijaers.77.20>
3. A. Aljaafreh, Y. Alzubi, E. Al-Kharabsheh, and B. Yasin, "Seismic Performance of Reinforced Concrete Structures with Concrete Deficiency Caused by In-situ Quality Management Issues," Civil Engineering Journal (Iran), vol. 9, no. 8, 2023, doi: <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-08-010>
4. H. Rojas, A. Yaguana, and F. Baculima, "Herramienta para revisión digital y captación de datos de proyectos de construcción," CienciAmérica, vol. 11, no. 2, 2022, doi: <https://doi.org/10.33210/ca.v11i2.397>
5. D. Arias-Salazar and C. Naranjo-Bustos, "Comparación Económica De Dos Tipos De Losas Con Sistema Tradicionales vs. Losas Postensadas En Quito - Ecuador," 593 Digital Publisher CEIT, vol. 7, no. 4–2, 2022, doi: <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.4-2.1084>
6. S. S. Aman, B. S. Mohammed, M. A. Wahab, and A. Anwar, "Performance of reinforced concrete slab with opening strengthened using CFRP," Fibers, vol. 8, no. 4, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/fib8040025>
7. J. E. De La Cruz Alvarez and R. R. Yoctun Rios, "Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación regular e irregular de ocho niveles en sistema de pórticos aplicando la norma e.030 2003, 2016 y 2018 diseño sismorresistente en la ciudad de Lima," Gaceta Técnica, vol. 23, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.5>
8. W. U. Nyong, O. O. Desmond, and O. S. Olalekan, "Comparative analysis and design of solid ribbed and waffle slabs for residential buildings: A review," 2023. doi: <https://doi.org/10.54905/disssi/v20i53/e14ije1014>
9. I. J. S. Ribeiro, J. R. de Castro Pessoa, and T. N. Bittencourt, "Analysis of shear strength of complementary mechanisms trends in reinforced concrete beams," Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, vol. 16, no. 2, 2023, doi: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952023000200008>
10. P. Cabrera, J. Ordoñez, L. Carrión, and R. Lima, "Geotecnia enfocada a cimentaciones de edificaciones de 3 pisos en la ciudad de Machala: Geotechnics focused on foundations of 3-story buildings in the city of Machala," Conference Proceedings (Machala), vol. 4, pp. 94–111, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.48190/cp.v4n1a6>
11. C.-C. Yip, J.-Y. Wong, M. Amran, R. S. M. Rashid, and M. L. Nehdi, "Flexural performance of concrete composite metal decking with different base-metal-thickness new smart system," Case Studies in Construction Materials, vol. 19, p. e02245, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02245>
12. M. M. Arévalo Navarrete, O. G. Latorre Garzón, J. E. Portilla Karolis, and J. G. Zapata Suárez, "Comparación de Dos Sistemas Constructivos Empleados en la Construcción de Edificios en la Ciudad de Quito," Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, vol. 8, no. 1, pp. 11679–11700, Apr. 2024, doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10472
13. C. H. HIGUERA SANDOVAL and D. A. Hernández-Rojas, "Aplicación de elementos finitos para el chequeo de losas de concreto hidráulico," Respuestas, vol. 26, no. 1, 2021, doi: <https://doi.org/10.22463/0122820x.2527>