

**Análisis estructural y optimización paramétrica del elemento más crítico del edificio de acero “Eurofert” ubicado en la ciudad de Durán**

**Structural analysis and parametric optimization of the most critical element of the “Eurofert” steel building located in the city of Durán**

*Luis Eduardo Ruiz Flores*

**DIMENSIÓN CIENTÍFICA**

Enero - junio, V°7 - N°1; 2026

**Recibido:** 05-05-2026

**Aceptado:** 05-05-2026

**Publicado:** 09-05-2026

**PAIS**

- Ecuador, Sangolquí

**INSTITUCION**

- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

**CORREO:**

✉ [luiseduruiz@yahoo.com](mailto:luiseduruiz@yahoo.com)

**ORCID:**

 <https://orcid.org/0009-0001-1490-4831>

**FORMATO DE CITA APA.**

Ruiz, L. (2026). Análisis estructural y optimización paramétrica del elemento más crítico del edificio de acero “Eurofert” ubicado en la ciudad de Durán. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°1). Pág. 4694 – 4713.

**Resumen**

La presente investigación aborda el análisis estructural y la optimización paramétrica del edificio de acero “Eurofert” en Durán, Ecuador, motivada por asentamientos observados en su viga-armadura central. El objetivo principal fue evaluar la integridad de la estructura bajo normativas vigentes (NEC-15 y AISC 360-16) y proponer una mejora en la eficiencia del elemento más crítico mediante herramientas computacionales avanzadas. La metodología integró el Método de Elementos Finitos (MEF) para el diagnóstico global y técnicas de inteligencia artificial, específicamente algoritmos genéticos en ANSYS Workbench, para la optimización. Los resultados del análisis inicial revelaron vulnerabilidades significativas: aunque las derivas de piso cumplieron con los límites de serviciabilidad, se detectó un comportamiento torsional inadecuado en los primeros modos de vibración y deflexiones verticales que superaron los límites admisibles ( $\$/360\%$ ). Asimismo, se identificaron factores de sobreesfuerzo críticos, con relaciones demanda/capacidad ( $\$/C\%$ ) que alcanzaron valores de 1.19 en columnas, 4.68 en vigas principales y hasta 6.25 en elementos de la cercha, indicando un incumplimiento de los criterios de resistencia mecánica. La fase de optimización paramétrica se centró en la viga-armadura de cubierta, logrando una reducción de masa del 33.5% (de 284.12 kg a 188.82 kg) al ajustar variables como el espesor y la geometría, manteniendo el esfuerzo máximo combinado en 93.32 MPa. Este resultado valida la eficacia de la optimización paramétrica para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de proyectos de acero, garantizando un factor de seguridad de 2.57 y el cumplimiento estricto de la seguridad estructural en zonas de alta sismicidad.

**Palabras clave:** Optimización paramétrica, Análisis estructural, Elementos finitos, Estructuras de acero, ANSYS Workbench, Eficiencia estructural.

**Abstract**

This research addresses the structural analysis and parametric optimization of the “Eurofert” steel building in Durán, Ecuador, prompted by settlements observed in its central truss beam. The main objective was to evaluate the structural integrity under current regulations (NEC-15 and AISC 360-16) and propose improvements to the efficiency of the most critical element using advanced computational tools. The methodology integrated the Finite Element Method (FEM) for the overall diagnosis and artificial intelligence techniques, specifically genetic algorithms in ANSYS Workbench, for optimization. The results of the initial analysis revealed significant vulnerabilities: although story drifts met serviceability limits, inadequate torsional behavior was detected in the first vibration modes, and vertical deflections exceeded the allowable limits ( $\$/360\%$ ). Furthermore, critical stress factors were identified, with demand-to-capacity ratios ( $\$/C\%$ ) reaching values of 1.19 in columns, 4.68 in main beams, and up to 6.25 in truss elements, indicating non-compliance with mechanical strength criteria. The parametric optimization phase focused on the roof truss beam, achieving a 33.5% mass reduction (from 284.12 kg to 188.82 kg) by adjusting variables such as thickness and geometry, while maintaining the maximum combined stress at 93.32 MPa. This result validates the effectiveness of parametric optimization in improving the sustainability and profitability of steel projects, guaranteeing a safety factor of 2.57 and strict compliance with structural safety in areas of high seismicity.

**Keywords:** Optimización paramétrica, Análisis estructural, Elementos finitos, Estructuras de acero, ANSYS Workbench, Eficiencia estructural.

## Introducción

La evolución de la construcción ha estado marcada por la necesidad de optimizar recursos, mejorar el desempeño estructural y responder a las exigencias de funcionalidad y seguridad. Desde el uso inicial de materiales naturales como la piedra y la madera, hasta la incorporación del acero en la revolución industrial, la ingeniería estructural ha experimentado avances significativos que han permitido el desarrollo de edificaciones más eficientes, seguras y de mayor envergadura. En este contexto, el diseño estructural ha evolucionado hacia enfoques que integran no solo criterios de resistencia, sino también de eficiencia económica, constructiva y energética.

El éxito de un proyecto estructural depende de múltiples factores. Por un lado, se encuentran los aspectos técnicos relacionados con el diseño y la implementación, los cuales influyen directamente en la estabilidad y funcionalidad de la estructura (G. Rojas, 2023). Por otro lado, intervienen factores operativos como la gestión del tiempo, la optimización de recursos y la rentabilidad del proyecto (Vargas & Bedoya, 2025). En este sentido, la ingeniería moderna busca equilibrar estos elementos mediante el uso de metodologías avanzadas de análisis y diseño.

En el caso de las estructuras metálicas, existe una tendencia creciente hacia la reducción del peso sin comprometer la seguridad ni el desempeño. Sin embargo, el criterio de peso mínimo no siempre refleja de manera adecuada el costo total del proyecto, ya que no considera la complejidad del diseño, la diversidad de secciones estructurales ni los tipos de conexiones requeridas (García-Hernández, 2020). Por ello, la optimización estructural debe contemplar múltiples variables, incluyendo el costo, la constructibilidad y la eficiencia del sistema. En particular, la optimización de armaduras metálicas implica un equilibrio entre la reducción del peso y la simplificación del diseño estructural.

---

Las estructuras reticuladas o armaduras constituyen un sistema ampliamente utilizado en la ingeniería debido a su eficiencia estructural y versatilidad. En este contexto, la aplicación de técnicas de optimización resulta fundamental para mejorar su desempeño y reducir costos (Ramírez-Echeverry & Villalba, 2021). En las últimas décadas, el avance de las herramientas computacionales ha permitido abordar problemas complejos de optimización estructural que anteriormente presentaban incertidumbres asociadas a parámetros geométricos, propiedades de materiales y comportamientos dinámicos no modelados

El desarrollo de modelos computacionales y algoritmos avanzados ha transformado la manera en que se diseñan las estructuras. En particular, el uso del diseño paramétrico y algoritmos evolutivos ha demostrado ser altamente eficaz en la optimización de estructuras metálicas. Estudios como el de Escobar (2019) evidencian que la implementación de algoritmos de optimización en el diseño de celosías permite mejorar significativamente la eficiencia estructural, reduciendo el consumo de material y, por ende, el impacto económico y ambiental. De manera similar, Palacios & Moran (2024) destacan que la integración de diseño paramétrico, análisis por elementos finitos y algoritmos genéticos permite obtener soluciones más eficientes que aquellas derivadas únicamente de la experiencia del ingeniero.

Diversas investigaciones han demostrado los beneficios de la optimización estructural en términos de reducción de peso y mejora del desempeño. Por ejemplo, Müzel et al. (2020) logró reducir el peso de una armadura en un 28,35% mediante el uso de software de elementos finitos, mientras que Catota & Burgos (2022) reportó una disminución promedio del 13,76% en estructuras metálicas optimizadas bajo los criterios de la norma AISC 360-16. Estos resultados evidencian el potencial de las herramientas

---

computacionales para mejorar la eficiencia en el diseño estructural, así como para reducir tiempos y costos de construcción.

En este contexto, la presente investigación se enfoca en el análisis estructural y la optimización paramétrica del elemento más crítico del edificio de acero “Eurofert”, ubicado en la ciudad de Durán, Ecuador. Esta edificación, construida en 2014, presenta un leve asentamiento en la celosía de la viga central tipo armadura, lo que motiva la necesidad de evaluar su comportamiento estructural y proponer alternativas de mejora. A pesar de que la estructura ha funcionado adecuadamente, el análisis detallado mediante herramientas avanzadas permite identificar oportunidades de optimización que contribuyan a mejorar su desempeño y reducir costos.

El estudio se fundamenta en el uso del método de elementos finitos, una técnica ampliamente utilizada en ingeniería para analizar el comportamiento de estructuras complejas (B. Rojas & Caicedo, 2025). A través del software Ansys Workbench, se realizará la simulación estructural del edificio para identificar el elemento más crítico y evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga. Posteriormente, se aplicará un proceso de optimización paramétrica mediante algoritmos genéticos, los cuales, como parte de la inteligencia artificial, imitan los procesos de evolución biológica para encontrar soluciones óptimas en problemas complejos (Beltrán & Borja, 2022).

La relevancia de esta investigación radica en la necesidad de optimizar las estructuras metálicas en contextos donde la eficiencia económica y la seguridad estructural son fundamentales. En países como Ecuador, donde existen zonas con alta actividad sísmica, el uso de estructuras metálicas livianas y resistentes resulta especialmente importante (Brito, 2024). En este sentido, la optimización estructural no solo contribuye a la reducción de costos, sino también a la mejora del desempeño sísmico y la sostenibilidad de las edificaciones.

---

Finalmente, el desarrollo de este estudio se enmarca dentro de la normativa vigente, incluyendo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y estándares internacionales como AISC, ASTM y FEMA, los cuales garantizan que las soluciones propuestas cumplan con los requisitos de seguridad, resistencia y funcionalidad. De esta manera, la investigación busca aportar al desarrollo de metodologías de diseño más eficientes, integrando herramientas computacionales avanzadas con criterios normativos y de sostenibilidad en la ingeniería estructural.

### **Métodos y Materiales**

El presente estudio se desarrolla sobre el edificio industrial “Eurofert”, ubicado en el cantón Durán, provincia del Guayas, Ecuador. El proyecto fue concebido con el objetivo de proporcionar un espacio seguro y funcional para actividades administrativas e industriales, cumpliendo con los requerimientos de desempeño estructural establecidos en la normativa vigente.

Desde el punto de vista arquitectónico, la edificación presenta una distribución en dos niveles. En la planta baja se dispone de espacios destinados principalmente a oficinas, delimitados mediante mampostería. De manera similar, en el segundo nivel se mantienen divisiones para áreas administrativas, conforme a la configuración arquitectónica definida en los planos del proyecto.

La investigación se divide en dos fases: una evaluación estructural global bajo normativas sismorresistentes y un proceso de optimización paramétrica avanzada mediante superficies de respuesta.

Fase I: Análisis Estructural Global del Edificio

---

Se realizó la modelación tridimensional del edificio "Eurofert" utilizando el software de análisis estructural por elementos finitos. La estructura se compone de pórticos ordinarios de acero y una cubierta de celosía metálica.

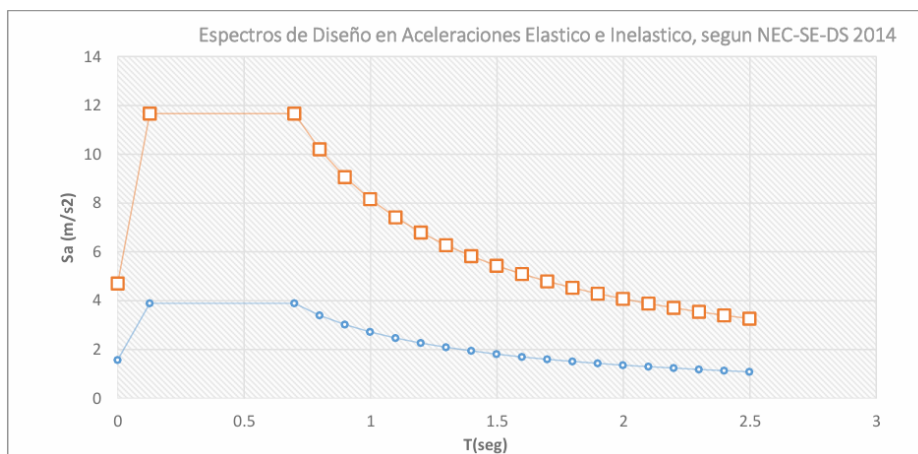
- Propiedades de Materiales: Se empleó acero ASTM A36 con  $F_Y = 2531.051 \text{ kg/cm}^2$  (36,259psi) y hormigón de  $210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Cargas Gravitatorias: Se aplicaron cargas muertas ( $D$ ) incluyendo mampostería ( $276.72 \text{ kg/m}^2$ ) y loseta Steel Panel ( $175.68 \text{ kg/m}^2$ ). Las cargas vivas ( $L$ ) se definieron en ( $240 \text{ kg/m}^2$ ) para oficinas y ( $480 \text{ kg/m}^2$ ) en escaleras.

**Tabla 1.** Resumen de Cargas Muertas distribuidas.

Carga Muerta sobre Loseta N+3.90 (DL1) =	544.10	kg/m <sup>2</sup>
Carga Muerta sobre Gradadas (DL2) =	91.70	kg/m <sup>2</sup>
Carga Muerta sobre Cubierta Metálica (DL3) =	35.63	kg/m <sup>2</sup>

- Cargas Ambientales y Sísmicas: Se calculó la presión de viento ( $230.33 \text{ Pa}$ ) y la carga de lluvia ( $77 \text{ kg/m}^2$ ). El análisis sísmico se basó en la norma NEC-SE-DS 2014 con un factor de zona  $Z = 0.4$  y tipo de suelo C.

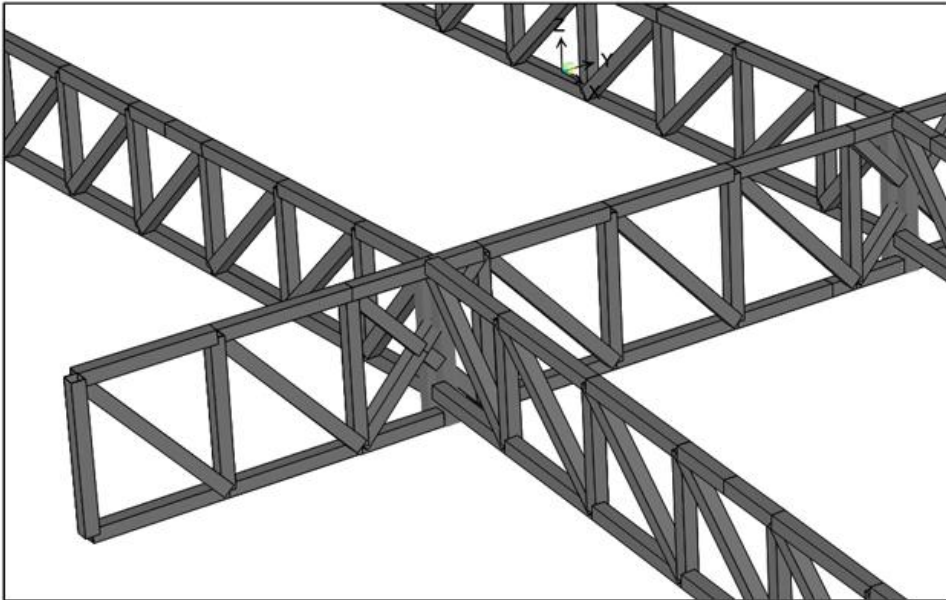
**Figura 1.** Espectro de Diseño en Aceleraciones Elástico e Inelástico.



### Selección y Diagnóstico del Elemento Crítico

Tras el análisis global, se detectaron deficiencias en los modos de vibración (torsión en los primeros dos modos) y deflexiones que superaban los límites de servicio ( $L/360$  en vigas y  $L/240$  en cubiertas). Se identificó la viga-armadura central de la cubierta como el elemento más crítico.

**Figura 2.** Viga – armadura a ser optimizada.



### Fase II: Optimización Paramétrica en ANSYS Workbench

Para mejorar el rendimiento y reducir el costo (masa), se trasladó la sección crítica a un entorno de optimización paramétrica en ANSYS Workbench.

Modelado y Mallado: Se utilizó un tamaño de malla de  $1500\text{ mm}$  basado en la longitud de la barra mayor. Las cargas se aplicaron vectorialmente en los nudos críticos.

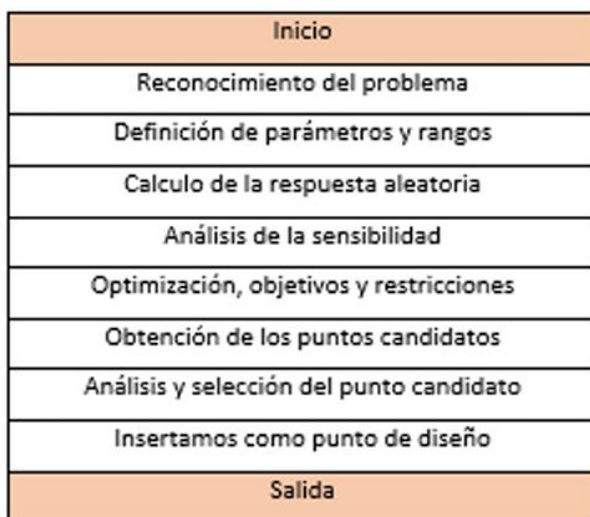
---

**Tabla 2.** Cargas axiales aplicadas en el nodo A y B.

item	Miembro	Fuerza Axial en los miembros(N)	fuerza cortante	ángulo de los miembros en el nodo A	Fuerza vertical en el nodo A (N)
1	6188	399580.77	406.14	5.80	-40421.29
2	5530	167658.34	108.12	48.10	-124870.73
3	6176	398077.95	429.23	5.80	-40271.75
4	5549	180028.67	53.52	48.10	-134037.49
total carga axial vertical sobre el nudo A (N)					-339601.27
item	Miembro	Fuerza Axial en los miembros(N)	fuerza cortante	ángulo de los miembros en el nodo B	Fuerza vertical en el nodo B (N)
5	5476	536579.73	501.17	5.80	54275.53
6	5422	548527.59	563.38	5.80	55489.23
total carga axial vertical sobre el nudo B (N)					109764.76

Diseño de Experimentos (DoE): Se aplicó una metodología de optimización basada en el siguiente esquema:

**Figura 3.** Metodología de cálculo para el diseño de experimentos



**Definición de Parámetros y Funciones Objetivo**

Se definieron las variables de entrada (parámetros geométricos) y las de salida (rendimiento estructural) para alimentar la superficie de respuesta:

- Variables de Entrada: Se establecieron rangos para el espesor (2 a 4 mm), largo y alto.

**Tabla 3.** *Parámetros de entrada.*

ítem	Descripción	Rango
1	espesor	De 2,0 a 4,0 mm
2	largo	De 900 a 1100 mm
3	alto	De 990 a 1210 mm

- Variables de Salida y Restricciones: La función objetivo fue minimizar la masa, restringiendo el esfuerzo máximo combinado a  $\leq 160$  MPa.

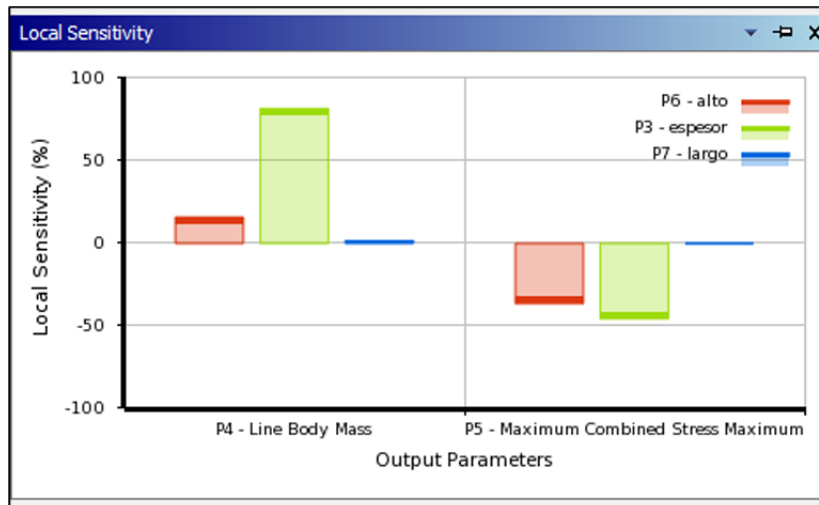
**Tabla 4.** *Parámetros de salida.*

ítem	Descripción	Rango / Función
1	masa	minimizar
2	esfuerzo máximo combinado	Menor o igual a 160 MPa

#### Análisis de Sensibilidad y Selección de Candidatos

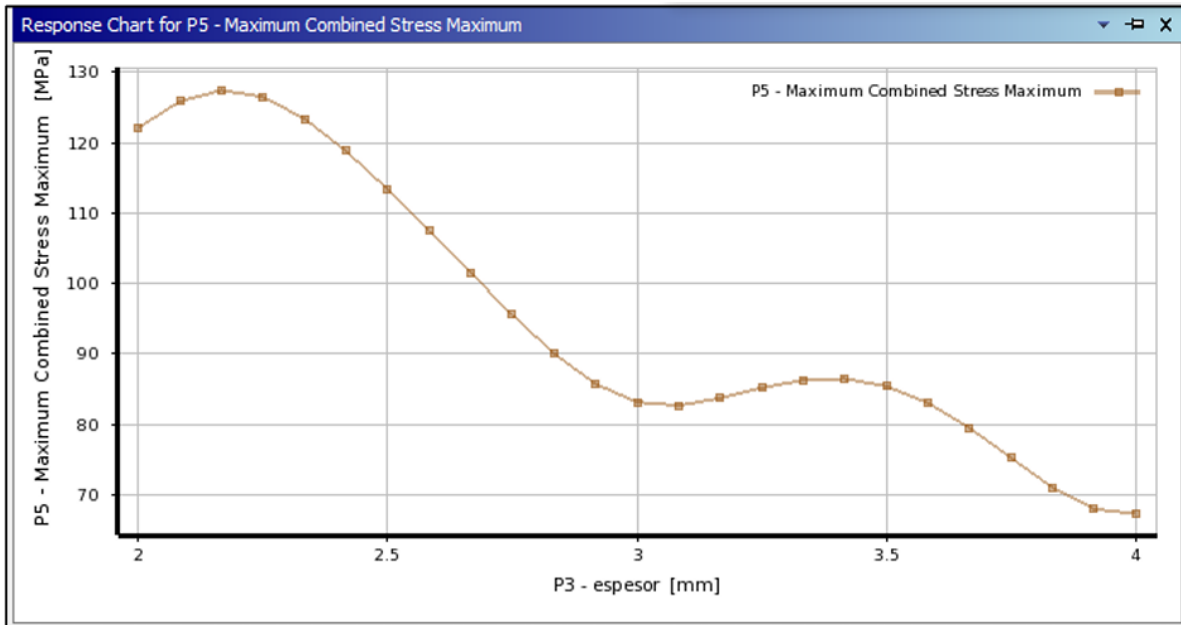
Se analizaron las relaciones de sensibilidad para determinar qué parámetro afectaba más al diseño.

**Figura 4.** Análisis de sensibilidad.



Posteriormente, se generó una superficie de respuesta para visualizar la interacción entre el espesor del material y el esfuerzo generado.

**Figura 5.** Superficie de respuesta, Esfuerzo máximo combinado vs Espesor.



### Verificación del Punto de Diseño Optimizador

Finalmente, se seleccionó el "Punto Candidato" con mejor desempeño estructural y factor de seguridad. Este punto fue insertado nuevamente en el modelo para una validación final de la geometría y los esfuerzos resultantes.

**Figura 6.** Selección de puntos candidatos.

Table of Schematic B4: Optimization , Candidate Points									
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Reference	Name	P6 - alto (mm)	P3 - espesor (mm)	P7 - largo (mm)	P4 - Line Body Mass (kg)	P5 - Maximum Combined Stress Maximum (MPa)		
3						Parameter Value	Variation from Reference	Parameter Value	Variation from Reference
3	<input type="radio"/>	Candidate Point 1	1035.9	2.0071	981.54	★ ★ ★ 185	-0.50 %	★ 115.04	-25.26 %
4	<input type="radio"/>	Candidate Point 1 (verified)	1035.9	2.0071	981.54	★ ★ ★ 185.16	-0.42 %	★ 88.843	-42.28 %
5	<input type="radio"/>	Candidate Point 2	1061.5	2.0228	991.18	★ ★ ★ 189.26	1.78 %	★ 114.35	-25.71 %
6	<input type="radio"/>	Candidate Point 2 (verified)	1061.5	2.0228	991.18	★ ★ ★ 188.82	1.55 %	★ 93.325	-39.37 %
7	<input type="radio"/>	Candidate Point 3	1002.9	2.0413	1011.2	★ ★ ★ 185.28	-0.36 %	★ 128.23	-16.69 %
8	<input checked="" type="radio"/>	Candidate Point 3 (verified)	1002.9	2.0413	1011.2	★ ★ ★ 185.94	0.00 %	→ 153.92	0.00 %
*		New Custom Candidate Point	1100	3	1000				

### Análisis de resultados

Análisis de resultados respecto al diseño de la estructura metálica en el software de análisis estructural

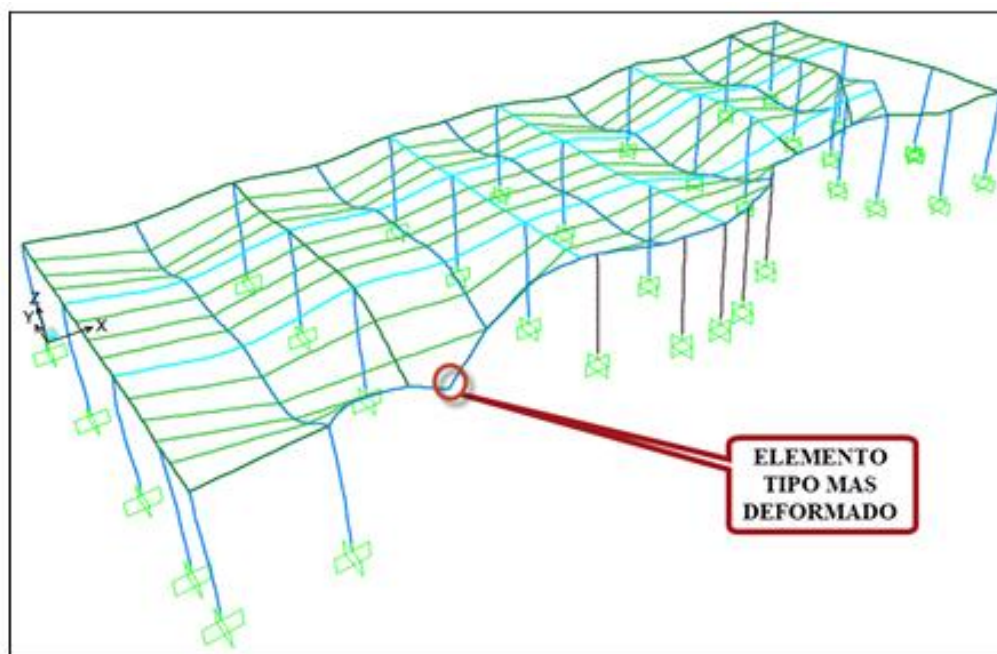
El diseño de la estructura metálica se basó en comprobar dos consideraciones: la resistencia mecánica de los elementos y la serviciabilidad. En la resistencia mecánica los miembros de la estructura metálica deberían cumplir la relación demanda /capacidad sea menor a 1; acorde a la norma ANSI/AISC 360-16. Es decir que los esfuerzos desarrollados por las cargas aplicadas a la estructura sean inferiores a la resistencia mecánica del perfil estructural. En cambio para la serviciabilidad (deflexiones y derivas), consiste en verificar en el caso de las deflexiones éstas no sobrepasen lo que dice la normativa (IBC; 2006,295),

en cambio para las derivas se verifica que los desplazamientos horizontales cada piso o nivel no sobrepasen lo que menciona la normativa (NEC-SE-DS2014).

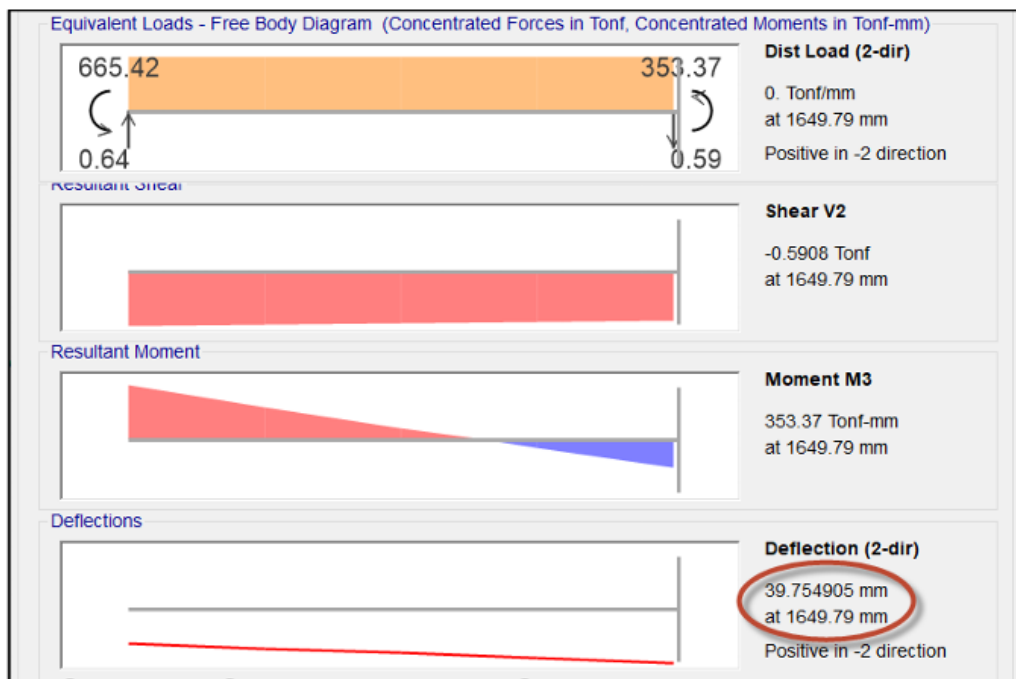
#### Análisis de la serviciabilidad por deflexiones verticales

La figura 7, muestra la viga que tiene mayor deflexión vertical. La normativa menciona la deflexión no debe sobrepasar  $L/360$ ; siendo  $L = 1649.79/360 = 4,58\text{mm}$ . Según el modelo de la figura 8, la deflexión máxima es  $6,98\text{mm}$ , por lo que se considera inapropiada.

**Figura 7.** Selección de la viga con mayor deflexión



**Figura 8.** Deformación de la viga



La tabla 5 muestra la deflexión vertical de una viga del modelo y las deflexiones límite, donde se visualiza que no cumple la normativa.

**Tabla 5.** Deflexiones del modelo y límite de la viga más representativa

Resumen comparativo deflexiones verticales - deflexiones limite							
ELEMENTO	LONGITUD	Def. Abs i	Def. Abs. máx.	Def. abs. j	Flecha máx.	Limite Def.	Estado
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(s/u)
VIGA	1649.79	25.70	32.68	39.75	6.98	4.58	REVISAR /NO PASA

**Análisis de la serviciabilidad por derivas**

En las tablas 6 y 7, muestra el resumen de los desplazamientos horizontales tanto en el eje de las X como en el eje de las Y. Como se puede observar las derivas no sobrepasa los límites establecidos en la normativa ecuatoriana.

**Tabla 6.** Verificación de derivas en dirección X

<b>R=</b>	<b>(Factor de Reducción de Respuesta)</b>						
<b>f=</b>	<b>0.75</b>	<b>(Factor de Reducción Derivas)</b>					
Nudo	Elevación (mm)	$\Delta$ elev. (mm)	Dezpl. Abs. (mm)	$\Delta$ dezpl. (mm)	$\Delta$ e	$\Delta$ m	Observación
1	9023	5573	25.00	13.15	0.0024	0.006	$\Delta$ m < 0.02; OK
2	3450	3450	11.50	11.50	0.0034	0.009	$\Delta$ m < 0.02; OK
3	0		0.00		0.0000	0.0000	$\Delta$ m < 0.02; OK

**Tabla 7.** Verificación de derivas en dirección Y

<b>R=</b>	<b>(Factor de Reducción de Respuesta)</b>						
<b>f=</b>	<b>0.75</b>	<b>(Factor de Reducción Derivas)</b>					
Nudo	Elevación (mm)	$\Delta$ elev. (mm)	Dezpl. Abs. (mm)	$\Delta$ dezpl. (mm)	$\Delta$ e	$\Delta$ m	Observación
1	9023	5573	17.51	5.94	0.0011	0.003	$\Delta$ m < 0.02; OK
2	3450	3450	11.57	11.57	0.0034	0.009	$\Delta$ m < 0.02; OK
3	0		0.00			0.0000	$\Delta$ m < 0.02; OK

Los desplazamientos horizontales en el eje X y eje Y de la estructura metálica no cumplen la normativa.

Análisis de la resistencia mecánica (demanda/capacidad).

En este análisis se verifica el cumplimiento de la normativa; la demanda capacidad sea menor a 1. La tabla 50, indica que la columna (de 300x300x8mm) más crítica tiene una la  $D/C = 1,19$ , es decir no cumple la normativa de diseño por resistencia mecánica.

**Tabla 8.** Demanda capacidad para columna

<b>RESUMEN DE CALCULO DE LA RELACION DEMANDA CAPACIDAD</b>			
Resistencia en compresión axial requerida (Pr)=	31728.00	kg	Modelo Núm.
Resistencia en flexión requerida (Mrx)=	1067228.28	kg-cm	Modelo Núm.
Resistencia en flexión requerida (Mry)=	1366993.81	kg-cm	Modelo Núm.
Resistencia en compresión axial disponible (Pc)=	212467.93	kg	AISC;2016, E1
Resistencia en flexión disponible (M <sub>cx</sub> =M <sub>cy</sub> )=	2185837.88	kg-cm	AISC;2016, F7
Relación Pr/Pc=	0.15	s/u	AISC; 2016, Ec. H1-1a
<b>Relación demanda capacidad (D/C)=</b>	<b>1.19</b>	<b>s/u</b>	<b>AISC; 2016, Ec. H1-1a</b>

Así también, la tabla 51, muestra que la viga tipo I (de 500x250x8 mm) más crítica; la demanda capacidad obtenida es de 4,68, por lo cual no cumple la normativa.

**Tabla 9.** Demanda capacidad para viga

<b>Resistencia en compresión axial requerida (Pr)=</b>	<b>1675.64</b>	<b>kg</b>	<b>Modelo Núm.</b>
Resistencia en flexión requerida (Mrx)=	256284.00	kg-cm	Modelo Núm.
Resistencia en flexión requerida (Mry)=	1811904.00	kg-cm	Modelo Núm.
Resistencia en compresión axial disponible (Pc)=	144086.01	kg	AISC;2016, E1
Resistencia en flexión disponible eje mayor (Mcx)=	1215935.56	kg-cm	AISC;2016, F7
Resistencia en flexión disponible eje menor (Mcy)=	405507.66		AISC;2016, F7
Relación Pr/Pc=	0.01	s/u	AISC;2016, Ec. H1-1a
<b>Relación demanda capacidad (D/C)=</b>	<b>4.685</b>	<b>s/u</b>	<b>AISC;2016, Ec. H1-1a</b>

La tabla 10, muestra que el perfil tipo tubo cuadrado estructural (de 100x100x3 mm) más crítico; tiene una demanda capacidad obtenida es de 6,25, por lo cual no cumple la normativa.

**Tabla 10.** Demanda capacidad para tubo cuadrado estructural

<b>CÁLCULO DE LA RELACION DEMANDA CAPACIDAD</b>			
Resistencia en compresión axial requerida (Pr)=	55914.00	kg	Modelo Núm..
Resistencia en flexión requerida (Mrx)=	330684.00	kg-cm	Modelo Núm..
Resistencia en flexión requerida (Mry)=	68533.00	kg-cm	Modelo Núm..
Resistencia en compresión axial disponible (Pc)=	26467.53	kg	AISC;2016,E1
Resistencia en flexión disponible eje mayor(Mcx)=	96480.12	kg-cm	AISC;2016,F7
Resistencia en flexión disponible eje menor(Mcy)=	96480.12	kg-cm	AISC;2016,F7
Relación Pr/Pc=	2.11	s/u	AISC;2016, Ec. H1-1a
<b>Relación demanda capacidad (D/C)=</b>	<b>6.250</b>	<b>s/u</b>	<b>AISC;2016, Ec. H1-1a</b>

Análisis de resultados respecto a la optimización paramétrica

El punto candidato 2 verificado, es el seleccionado, y es analizado en la tabla 11.

**Tabla 11.** *Análisis de resultados con respecto al punto candidato2 verificado*

ítem	Descripción del parámetro	Función /rango	antes de optimizar	Después de optimizar
1	Alto	No/ 990 a 1210mm	1100mm	1061.5 mm
2	Largo	No/ 900 a 1100mm	1000mm	991.18 mm
3	Espesor	No /2 a4mm	3mm	2.0228 mm
4	masa	Minimizar masa/No	284,12 Kg	188.82 kg
5	Esfuerzo máximo combinado	Restringir el esfuerzo menor o igual a 160MPa/No	83,8 MPa	93,32 MPa

### Conclusiones

El análisis estructural numérico permitió identificar que la zona más crítica de la edificación corresponde a la parte delantera de la viga principal de cubierta, debido a la concentración de cargas provenientes de las cerchas, lo que genera estados de sobreesfuerzo en comparación con los límites establecidos en la AISC 360-16. Esta condición evidencia que el diseño original no distribuye de manera eficiente las solicitaciones estructurales en dicha zona.

Por otra parte, el análisis modal evidenció la presencia de modos de vibración con torsión en planta, lo cual sugiere posibles irregularidades en la configuración estructural. Este comportamiento es indicativo de una potencial patología estructural según los criterios establecidos en la NEC-SE-DS, lo que podría comprometer el desempeño sísmico de la edificación.

Asimismo, el análisis de capacidad estructural mostró que varios elementos no cumplen con la relación demanda/capacidad menor a la unidad. En particular, algunas columnas, vigas principales y elementos de las cerchas de cubierta presentan valores superiores a 1, lo que indica que su capacidad resistente es insuficiente frente a las

solicitaciones actuantes. En conjunto, estos resultados evidencian que la estructura se encuentra sobreesforzada, lo que representa una condición desfavorable desde el punto de vista de seguridad estructural.

En cuanto al comportamiento en servicio, se verificó que las derivas de piso cumplen con los límites establecidos en la normativa sísmica ecuatoriana, lo que indica un adecuado desempeño frente a desplazamientos laterales. Sin embargo, en la verificación de deflexiones verticales, los elementos horizontales como vigas, correas y cerchas no cumplen con los límites establecidos en la ASCE 7-16, lo que podría generar problemas funcionales, estéticos y de durabilidad en la estructura.

Finalmente, la aplicación de la optimización paramétrica permitió mejorar el desempeño del elemento analizado, logrando una reducción significativa de la masa del 33,5 %, pasando de 284,12 kg a 188,82 kg, lo cual representa un beneficio en términos de eficiencia estructural y economía de materiales. El proceso de optimización determinó un espesor óptimo aproximado de 2,02 mm; no obstante, desde el punto de vista constructivo, el uso de espesores menores a 3 mm puede presentar limitaciones en los procesos de soldadura, lo que debe ser considerado en su aplicación práctica. A pesar de ello, el modelo optimizado cumple con la restricción establecida de esfuerzo máximo combinado menor o igual a 160 MPa y presenta un factor de seguridad de 2,57, garantizando un comportamiento estructural adecuado.

---

## Referencias bibliográficas

- Alava, J., Alava, J., Alava, M., Pezo, F., & Alcivar, J. (2025). Didáctica digital y el desarrollo del aprendizaje significativo. *Arandu UTIC*, 12(3), 219–241. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1301>
- Amén-Mora, P., Zavala-Baque, D., Moran-Lozano, N., & Intriago-Terán, A. (2024). Desafíos éticos y de privacidad en la implementación de la inteligencia artificial en la educación superior. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*. ISSN 2737-6354., 7(14), 613–628. <https://www.reicomunicar.org/index.php/reicomunicar/article/view/333>
- Aparicio-Gómez, O.-Y., & Aparicio-Gómez, W.-O. (2024). Innovación educativa con sistemas de aprendizaje adaptativo impulsados por Inteligencia Artificial. *Revista Internacional de Pedagogía e Innovación Educativa*, 4(2), 343–363. <https://doi.org/10.51660/ripie4222>
- Aparicio-Gómez, O.-Y., & Cortés, M. (2024). Desafíos éticos de la Inteligencia Artificial en la personalización del aprendizaje. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, 17(2), 377–392. <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/riiep/article/view/10000>
- Bolaño-García, M., & Duarte-Acosta, N. (2024). Una revisión sistemática del uso de la inteligencia artificial en la educación. *Revista Colombiana de Cirugía*, 39(1), 51–63. <https://doi.org/10.30944/20117582.2365>
- CEPAL. (2020). Universalizar el acceso a las tecnologías digitales para enfrentar los efectos del COVID-19. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45938-universalizar-el-acceso-tecnologias-digitales-enfrentar-efectos-covid-19>
- Freire, G., López, J., Rodríguez, V., & Espinoza, M. (2024). Revisión sistemática sobre el uso de ChatGPT y Consensus en la redacción científica. 86–92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9909568>
- González, C. (2024). Desarrollo de una aplicación web con asistente virtual para la gestión y promoción de actividades turísticas en la parroquia San Andrés. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/23469/1/18T01042.pdf>
- Hernández, P., & Pazmiño, M. (2025). La inteligencia artificial: Un recurso educativo para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes universitarios. *Sinapsis: La revista científica del ITSUP*, 26(1), 11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10278493>
- Kroff, F., Coria, D., & Ferrada, C. (2024). Inteligencia Artificial en la educación universitaria: Innovaciones, desafíos y oportunidades. *Revista Espacios*, 45(5), 120–135. <https://doi.org/10.48082/espacios-a24v45n05p09>
- Loján, M. D. C., Romero, J., Aguilera, D., & Romero, A. (2024). Consecuencias de la dependencia de la inteligencia artificial en habilidades críticas y aprendizaje autónomo en los estudiantes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 2368–2382. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10678](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10678)
-

- Lozada, R., Lopez, E., Espinoza, M. de J., Arias, N. de J., & Quille, G. (2023). Los riesgos de la inteligencia artificial en la educación. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinaria*, 7(5), 8.
- Morales, A., & Escola, J. (2025). Monólogos educativos generados a través de modelos de inteligencia artificial. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/15583>
- Moreira, J., Beltrón, R., & Beltrón, V. (2021). Aprendizaje significativo una alternativa para transformar la educación. *Dominio de las Ciencias*, 7(2), 915–924. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8231789>
- Pauca, N., Inti, R., Zecenarro, J., Paredes, D., & Zamudio, J. (2025). Inteligencia artificial y el desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes universitarios de educación. *Revista Tribunal*, 5(11), 211–225. <https://doi.org/http://doi.org/10.59659/revistatribunal.v5i11.152>
- Pérez, A., & Figueroa, A. (2024). La ingeniería en prompts, una necesidad emergente para la formación del profesorado de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) en Inteligencia Artificial Generativa IAGen. Argumentos y usos tecnopedagógicos de la Inteligencia Artificial, 216. [https://books.google.com/books?hl=es&lr=lang\\_es&id=p-l2EQAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA216&dq=Ingenier%C3%ADa+de+prompts:+El+arte+de+comunicarse+con+la+inteligencia+artificial+generativa.&ots=fDvICnQbAh&sig=dQnTRpbckL26gZSLXdiabD7AzUk](https://books.google.com/books?hl=es&lr=lang_es&id=p-l2EQAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PA216&dq=Ingenier%C3%ADa+de+prompts:+El+arte+de+comunicarse+con+la+inteligencia+artificial+generativa.&ots=fDvICnQbAh&sig=dQnTRpbckL26gZSLXdiabD7AzUk)
- Pérez, A., & Figueroa, A. (2026). HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO APOYO EN LA INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN, UNA NECESIDAD EMERGENTE EN LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO DE LA ESCUELA NACIONAL PREPARATORIA. *Innovacion Educativa y Transformacion Digital: Inteligencia Artificial y Tecnologías Emergentes en la Formación Académica*, 61.
- Rivera, S. (2023). Impacto de la inteligencia artificial (IA) en la efectividad de las estrategias de marketing personalizado. *Revista científica anfibios*, 6(2), 70–81.
- Rondon, R., Pacotaípe, R., Alarcón, E., & Yopez, P. (2024). El impacto de la inteligencia artificial en la formación docente. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 17(2), 368–375. <https://doi.org/10.37843/rted.v17i2.566>
- Sotomayor, K., Varas, R., & Castro, I. (2023). Artificial intelligence in language teaching and learning. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(4), 5629–5638. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7368](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7368)
- Torres, D., & Arroyo, W. (2025). Flujos de trabajo inteligentes con ChatGPT, Perplexity y NotebookLM. <https://hdl.handle.net/10481/102902>
- UNESCO. (2021). Recomendación sobre la Ética de la Inteligencia Artificial. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381115>
- Vásquez, I. (2025). La inteligencia artificial como mediadora cognitiva y formativa en el aprendizaje autónomo universitario: Una teoría fundamentada. *SAGA: Revista Científica Multidisciplinaria*, 2(3), 667–679.
-

Vega-Reinel, S., Palacios-Zuñiga, R., Pazmiño-Gaibor, Á., Peña, P., & García-Laje, C. (2025). Implicaciones éticas del uso de inteligencia artificial generativa en la formación universitaria, dilema entre la innovación tecnológica y la responsabilidad académica. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*. ISSN 2737-6354., 8(15), 833–851. <https://doi.org/10.46296/rc.v8i15.0361>

Villacreses, E., Moreira, N., Calderón, J., Torres, V., Chungandro, M., Sarango, F., & Párraga, A. (2025). Inteligencia artificial: Transformando la escritura académica y creativa en la era del aprendizaje significativo. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 6(1), 1427–1451. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.533>