



Revista Arbitrada Venezolana  
del Núcleo Costa Oriental del Lago



# **Impacto** *Científico*

Universidad del Zulia

Diciembre 2024  
Vol. 19 N° 2

ppi 201502ZU4641  
Esta publicación científica en formato digital  
es continuidad de la revista impresa  
Depósito Legal: pp 200602ZU2811 / ISSN:1856-5042  
ISSN Electrónico: 2542-3207

 **Impacto Científico**

**Revista Arbitrada Venezolana  
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago**

Vol. 19. N°2. Diciembre 2024. pp. 504-525

DOI: 10.5281/zenodo.14318175

## **Diseño de una nave industrial sin cerramiento lateral con puente grúa de capacidad 25 toneladas utilizando el software STAAD. Pro CONNET**

**Jorge Luis Valencia Pérez**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador

jvalenciap4@est.ups.edu.ec

 <https://orcid.org/0009-0005-2397-6297>

**Carlos Alberto Romero Romero**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador

cromero@ups.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-0974-8408>

**Fritzner Joseph**

Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador

joseph.fritzner@educacion.gob.ec

 <https://orcid.org/0000-0003-1236-1666>

### **Resumen**

Una nave industrial es una estructura especialmente diseñada para albergar las actividades productivas e industriales. En su interior, no solo se encuentran máquinas y equipos, sino también, y de manera primordial, el personal que opera en ella. Por esta razón, el diseño estructural debe ser minucioso y garantizar que la edificación responda adecuadamente a las exigencias operativas, asegurando su estabilidad y seguridad. En este trabajo, se presenta el diseño de una nave industrial sin cerramiento lateral y con puente grúa de capacidad de 25 toneladas, siguiendo las normativas vigentes (NEC, 2015; AISC 360-16, 2016) y utilizando el software STAAD.Pro CONNECT. El diseño estructural permitió determinar las dimensiones de la sección transversal de los elementos. Los resultados obtenidos concluyen que el diseño sismorresistente cumple con los requisitos establecidos, ya que los componentes de la estructura son capaces de soportar las combinaciones de cargas últimas y las deflexiones se encuentran dentro de los límites permitidos. Además, el periodo estructural, el porcentaje acumulado de masa participativa, el cortante basal, las derivas y el cumplimiento del criterio de

columna fuerte-viga están dentro de los parámetros admisibles según la normativa nacional de obligatorio cumplimiento en Ecuador.

**Palabras claves:** Diseño sismorresistente; Grúa puente; Nave industrial; Normas; STAAD.Pro CONNECT

*Development of an industrial structure with open sides, incorporating a 25-ton overhead crane, analyzed and designed using STAAD software and Pro CONNECT tools*

### **Abstract**

An industrial warehouse constitutes a structure meticulously engineered to accommodate industrial and productive operations. Within its premises, it integrates machinery and equipment and, critically, the workforce that operates these resources. Consequently, the structural design demands precision and must be tailored to address operational requirements while ensuring stability and safety. This study elaborates on the design of an industrial warehouse that is characterized by the absence of lateral enclosures and is equipped with a 25-ton capacity overhead crane. The design adheres strictly to contemporary standards (NEC, 2015; AISC 360-16, 2016) and leverages the STAAD.Pro CONNECT software. Through this process, the cross-sectional dimensions of the structural components were meticulously determined. The findings corroborate that the seismic-resistant design complies with all stipulated regulations, as the structural elements effectively withstand the ultimate load combinations, while deflections remain healthy within acceptable limits. Additionally, the structural period, cumulative mass participation percentage, base shear, drifts, and conformity with the strong column-weak beam criterion align with Ecuador's legally binding national standards.

**Keywords:** Seismic-resistant design; Overhead crane; Industrial warehouse; Regulatory standards; STAAD.Pro CONNECT.

### **Introducción**

Una nave industrial según Sánchez (2022), es una estructura diseñada para albergar las actividades productivas, industriales e incluso logística (Garrido, 2021). Este tipo de estructura es muy liviana y se caracteriza por su altura y gran tamaño normalmente se construyen con columnas y vigas de celosías de acero estructural (Mayorga, 2021).

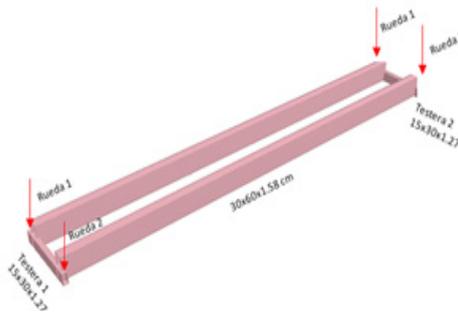
Las naves industriales no solo están en las principales vías y zonas urbanas, sino que también se construyen cerca de aeropuertos, puertos marítimos, vías ferroviarias entre otros. Estas estructuras en su mayoría tienen cerramientos laterales (cubierta) que permiten delimitar un área (Soto y Calsin, 2024). Sin embargo, esta particularidad hace que la estructura sea vulnerable al efecto del viento (Berny y Reinoso, 2018). Por otro lado, es común visualizar en estas edificaciones equipos de izamiento como puente grúa que se usa para elevación y transporte de cargas internas delimitadas por la superficie del inmueble (Panta, 2021).

Con este antecedente, este trabajo tiene como objetivo diseñar una nave industrial sin cerramiento lateral con puente grúa de capacidad 25 toneladas utilizando el software (STAAD.Pro CONNET, 2023), las normas (NEC, 2015) y las especificaciones internacionales (AISC 360-16, 2016) método por factores de carga y resistencia (LRFD). La simulación permitirá evaluar el comportamiento estructural sismorresistente de la nave, bajo cargas permanentes, variables, y accidentales (viento y sismo) y sus posibles combinaciones (Saravia, 2021).

## Metodología

### Longitud y geometría de la grúa puente y nave industrial

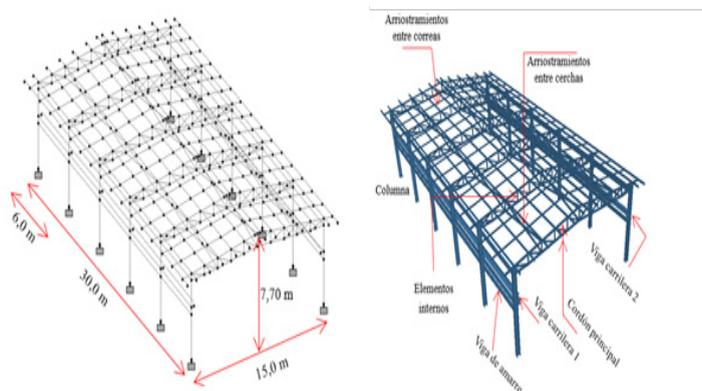
La longitud del puente grúa definido como sistema utilizado para izar y transportar carga (Huaroc, 2018) fue de 14,38 metros, la separación entre las vigas del puente fue de 1,52 metros, esta medida estuvo limitada por las dimensiones del trolley L025T26D18-60, las vigas laterales (testeras) de apoyo tenían una longitud 2,70 metros de largo, ver figura 1.



**Figura 1.** Longitud y geometría del puente grúa

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Las dimensiones de la nave industrial (Sánchez, 2022) fueron: 15 metros de ancho, 30 metros de largo y 7,70 metros de altura. La distancia entre cerchas 6 metros, ver figura 2.



**Figura 2.** Dimesiones de la nave industrial

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

## ***Determinación de cargas permanentes y variables que actúan sobre la grúa y nave industrial***

La carga permanente en la grúa incluyó el peso propio de los elementos estructurales (vigas puentes, y no estructurales (Rodríguez, 2021), como el peso del trolley el cual según fabricante es de 2495,5 kg.

La carga variable correspondió a la capacidad máxima de la grúa la cual fue considerada en 25 ton. Además, se tuvo en cuenta la carga de impacto, que, según la norma COVENIN (1988) corresponde a un 10% de la carga variable vertical para grúas operadas mediante controles colgantes, un 20% de la carga levantada como fuerza transversal y un 10% de la carga máxima por rueda como fuerza longitudinal.

En el caso de la nave industrial, la carga permanente fue determinada por el peso de la cubierta. Se seleccionó un panel AR2000 de 0,35 mm de espesor para los vanos múltiples, el peso de la cubierta es de 3,13 kg/m<sup>2</sup>, (Novacero, 1973) como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Peso propio de cubierta**

AR-2000						
Cuadro de espesores y peso						
Espesor (mm)	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6
Peso kg/cm <sup>2</sup>	2,68	3,13	3,58	4,03	4,47	5,37

**Fuente:** Novacero (1973)

El valor de la carga distribuida se obtuvo del producto del peso del panel por el ancho colaborante de cada correa, ver tabla 2.

**Tabla 2. Cargas de peso propio distribuidas sobre las correas**

Correa	Distancia 1 (m)	Distancia 2 (m)	Ancho Colaborante (m)	Carga (kg/m <sup>2</sup> )	Carga Distribuida WD Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Interna	1,51	1,51	1,51	3,13	4,74
Cumbrera	0,30	1,21	0,75	3,13	2,37
Interna	1,51	1,01	1,26	3,13	3,95
Externa	1,01	0	0,50	3,13	1,58

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

El valor de la carga viva se obtuvo de (NEC, 2015) para el caso de cubiertas planas, inclinadas y curvas se tiene una carga uniforme 0,70 kN/m<sup>2</sup>, equivalente a 71,37 kg/m<sup>2</sup>. La carga variable se distribuyó sobre las correas considerando el ancho colaborante, en la tabla 3, se muestran los valores calculados.

**Tabla 3. Cargas variables distribuidas sobre las correas**

Correa	Distancia 1 (m)	Distancia 2 (m)	Ancho Colaborante (m)	Carga (kg/m <sup>2</sup> )	Carga Distribuida WL Carga (kg/m)
Interna	1,51	1,51	1,51	71,35	107,95
Cumbrera	0,30	1,21	0,75	71,35	53,98
Interna	1,51	1,00	1,26	71,35	89,97
Externa	1,00	0,00	0,50	71,35	35,99

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Las cargas que transmite la grúa puente (reacciones de apoyo) figura 2, y que fueron movilizadas sobre las vigas que sostienen al puente grúa (Solorzano y Vargas ), se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Cargas variables que transmite la grúa puente a la viga carrilera**

Viga	Rueda	F <sub>y</sub> Fuerza vertical (kg)	F <sub>x</sub> Fuerza transversal (kg)	F <sub>z</sub> Fuerza longitudinal (kg)
Carrilera 1	1	-2.833,00	-870,00	-119,00
	2	-2.833,00	1.966,00	-150,00
Carrilera 2	1	-15.560,00	3.321,00	-2.630,00
	2	-15.560,00	-1.730,00	-2.600,00

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

### ***Determinación de cargas accidentales (viento y sismo) que actúan sobre la nave industrial***

Para el cálculo de las acciones de viento se utilizó (NEC, 2015), considerando velocidad de diseño para edificaciones de 10 metros de altura, no menor a 21 m/s. Sin embargo, esta velocidad se multiplica por un coeficiente de correlación  $\sigma$ , para calcular la velocidad corregida, cuyo valor se obtuvo empleando la ecuación 1.

$$V_b = V * \sigma = 21 \text{ m/s} * 0,96 = 20,16 \text{ m/s} \quad (1)$$

Donde  $V_b$  velocidad corregida del viento en m/s,  $V$  velocidad instantánea máxima del viento en m/s,  $\sigma$  coeficiente de corrección igual a 0,96. La presión del viento fue calculada empleando la ecuación 2.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V_b^2 * c_e * c_f \quad (2)$$

Donde  $P$  presión de cálculo expresada en Pa ( $N/m^2$ ),  $\rho$  densidad del aire expresada en ( $kg/m^3$ ),  $c_f$  coeficiente de forma y  $c_e$  coeficiente entorno/altura.

El coeficiente de forma para las superficies verticales a barlovento resultó ser 0,80. Para las superficies inclinadas a barlovento, con inclinaciones entre 15° y 60°, el valor obtenido fue 0,30, mientras que, para las superficies a sotavento, (succión) el coeficiente fue -0,60, ver Tabla 5.

**Tabla 5. Coeficientes de forma  $c_f$**

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificio	0,8	-
Superficies inclinadas entre 15 y 60 grados	0,3	- 0,6

Fuente: NEC (2015)

El coeficiente de entorno/altura se determinó según Rodríguez (2015), interpolando, para una altura de 7,70 metros en una zona rural el coeficiente de entorno/altura  $c_e$  igual a 1,77, ver tabla 6.

**Tabla 6. Coeficientes de entorno altura  $c_e$**

Entorno del edificio	Altura elemento sobre nivel del suelo (m)					
	3	5	10	20	30	50
Centro de grandes ciudades	1,63	1,63	1,63	1,63	1,68	2,15
Zonas urbanas	1,63	1,63	1,63	1,96	2,32	2,82
Zonas rurales	1,63	1,63	1,89	2,42	2,75	3,20
Terrenos abiertos sin obstáculos	1,64	1,93	2,35	2,81	3,09	3,47

Fuente: Rodríguez (2015)

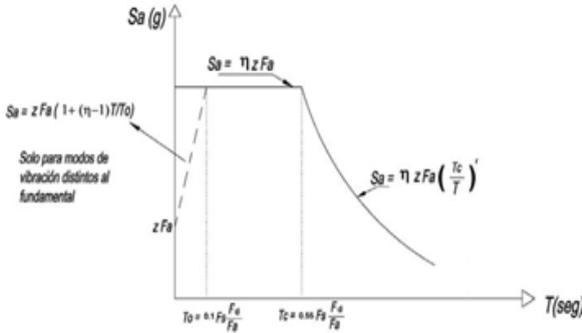
El cálculo de la presión del viento sobre las superficies se muestra en la tabla 7.

**Tabla 7. Presiones del viento sobre las superficies**

Densidad del aire $\text{kg}/\text{cm}^3$	1,25	Superficies verticales		Superficies inclinadas	
Velocidad (m/s)	21,00	$C_f$ Barlovento	0,80	$C_f$ Barlovento	0,30
$\sigma$	0,96	P ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	36,66	P ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	13,75
$V_b$	20,16	$C_f$ Sotavento	0,00	$C_f$ Sotavento	0,60
$C_e$	1,77	P ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	0,00	P ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	27,50

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para el cálculo del efecto sísmico fue considerada la norma (NEC, 2015) cuyo espectro de repuesta se calculó por medio de las ecuaciones que se muestran en la figura 3.



**Figura 3.** Espectro de respuesta elástico  
**Fuente:** NEC (2015)

La zonificación sísmica V y factor de zona Z=0,40, fue determinado considerando la ubicación de la nave industrial Tungurahua Ambato Ecuador. El perfil de suelo fue tipo D, con  $F_a = 1,2$ ,  $F_d = 1,19$  y  $F_s = 1,28$ .

El período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño  $T_c$  y  $T_0$  fue calculado empleando las ecuaciones 3 y 4.

$$T_0 = 0,55 F_d \frac{F_a}{F_s} = 0,70 \text{ s} \tag{3}$$

$$T_c = 0,10 F_d \frac{F_a}{F_s} = 0,13 \text{ s} \tag{4}$$

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$  se determinó de la siguiente manera:

Para  $T \leq T_0$

$$S_a = Z.F_a \left[ 1 + (n - 1) \frac{T}{T_0} \right] \tag{5}$$

Para  $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = n.Z.F_a \tag{6}$$

Para  $T \geq T_c$

$$S_a = n.Z.F_a \left( \frac{T_c}{T} \right)^\gamma = 1,19 \tag{7}$$

Donde  $r=1$  para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

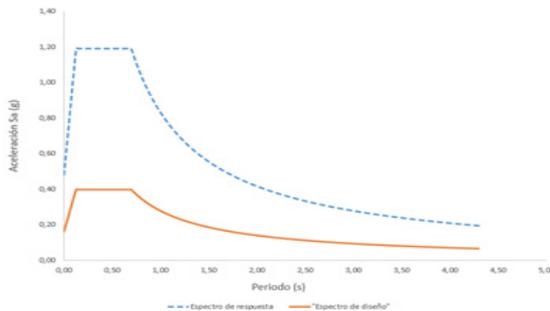
El factor de reducción de respuesta resultó  $R=3$ . El coeficiente de importancia derivó  $I=1$ . Los coeficientes de irregularidad en elevación  $\emptyset_E$  e irregularidad en planta  $\emptyset_P$  fueron considerados iguales a 1, la nave industrial no presenta ningún tipo de irregularidad.

Todos estos parámetros utilizados para el cálculo del espectro de respuesta y diseño se resumen en la tabla 8, mientras que en la figura 4 se presenta la gráfica correspondiente al espectro de respuesta y diseño.

**Tabla 8. Parámetros para el cálculo del espectro de respuesta y diseño**

Factor	Valor
$R$	3,00
$Z$	0,40
$I$	1,00
$\emptyset_E$	1,00
$\emptyset_P$	1,00
$n$	2,48
$r$	1,00
$F_a$	1,20
$F_d$	1,19
$F_s$	1,28
$T_o$	0,13
$T_c$	0,70

Fuente: Elaboración propia (2024)



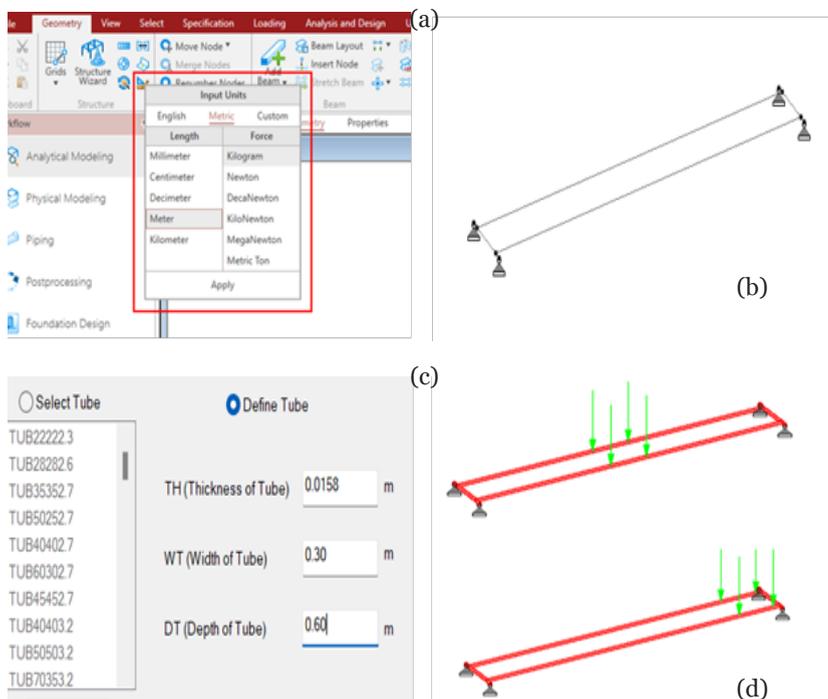
**Figura 4. Espectro de respuesta y diseño**

Fuente: Elaboración propia (2024)

## Diseño de los elementos estructurales del puente grúa utilizando el software STAAD.Pro CONNECT

En el caso del puente grúa, el modelado y diseño fueron realizados utilizando el software STAAD.Pro (Bach, 2022) se inició desde el comando Input Units, se definieron la unidad de fuerza en kilogramos (kg) y la unidad de longitud en metros (m) (figura 5a). A continuación, se empleó el comando Add Beam para conectar los nodos extremos y dibujar la estructura del puente grúa (figura 5b).

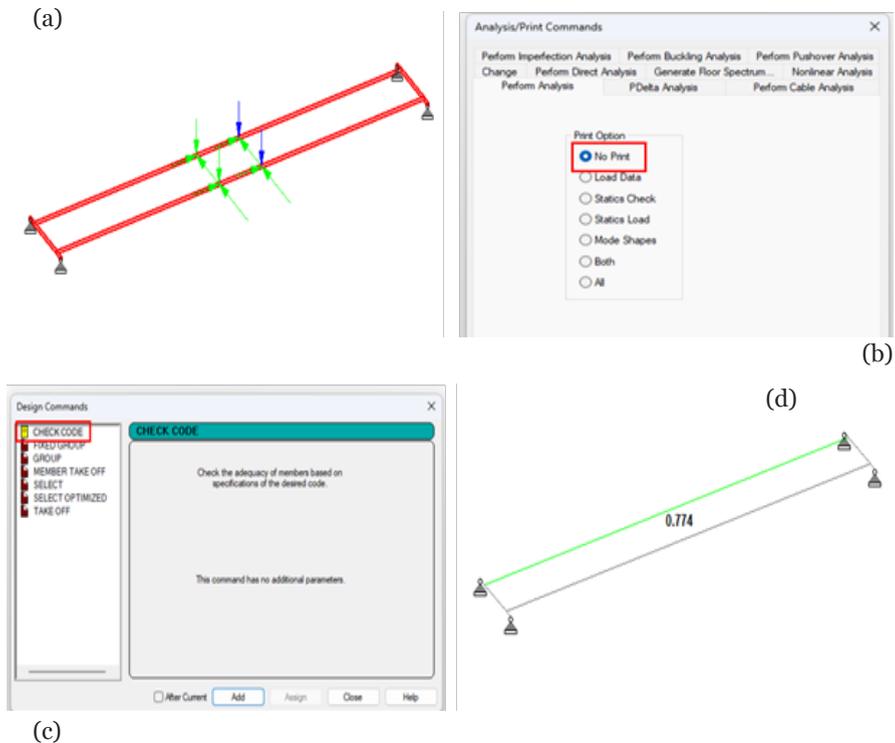
Las propiedades de las secciones se introdujeron desde el comando Properties, Section Database, Spanish, tube (figura 5c) (Porras, 2021). Posteriormente, las cargas, tanto de peso propio como las variables, que actúan sobre los elementos de la grúa, se definieron en la simulación utilizando el comando Loading y configurando los detalles desde el comando Load Case (figura 5d).



**Figura 5.** (a) Unidades de fuerza y longitud, (b) Geometría de la grúa puente, (c) Propiedades de la sección, (d) Cargas actuantes sobre el puente grúa.

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Las cargas de impacto consideradas fueron las especificadas en la norma (COVENIN, 1988) (figura 6a). El análisis estructural se llevó a cabo mediante el comando *Analysis, Define Commands*, con la opción *No Print* activada (figura 6b), (González, Hoyos y Sánchez, 2017). Para el diseño de la estructura, se utilizó el comando *Design, Commands*, seleccionando *CHECK CODE* (figura 6c). La relación entre el efecto de carga última y la capacidad minorada de la sección (ratio) en los elementos estructurales de la grúa se presenta en la figura 6d. Los resultados obtenidos muestran que el ratio máximo resultó 0,774.



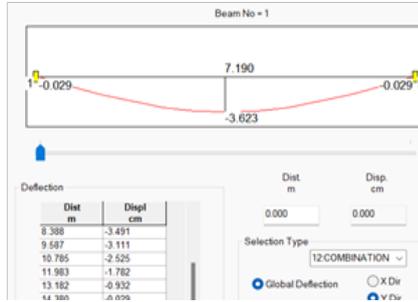
**Figura 6.** (a) Cargas de impacto sobre la grúa puente, (b) Análisis del modelo estructural, (c) Chequeo del código, (d) Ratio en los componentes civiles del equipo de izamiento

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Las reacciones en los apoyos de la grúa puente, que posteriormente fueron consideradas en el diseño de la viga carrilera, se calcularon utilizando el comando *Supports*. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4 y figura 7a. Las condiciones de servicio (deflexiones) (Vargas, 2017) se calcularon mediante el comando *Postprocessing*, en la opción *Displacements*, y el valor resultante fue de 3,623 cm (figura 7b).

8	1 LOAD CASE	0.000	1634.260	0.000
	2 LOAD CASE	0.000	6874.996	0.000
	3 LOAD CASE	0.000	12659.938	0.000
	4 LOAD CASE	-7620.869	687.500	1390.518
	5 LOAD CASE	-3321.200	1265.994	2630.663
	6 COMBINATI	0.000	2287.964	0.000
	7 COMBINATI	0.000	12961.107	0.000
	8 COMBINATI	0.000	22217.013	0.000
	9 COMBINATI	-9907.129	13854.856	1807.673
	10 COMBINATI	-4317.560	23862.805	3419.862
	11 COMBINATI	-3321.200	15560.192	2630.663
	12 COMBINATI	0.000	8509.256	0.000

(a)



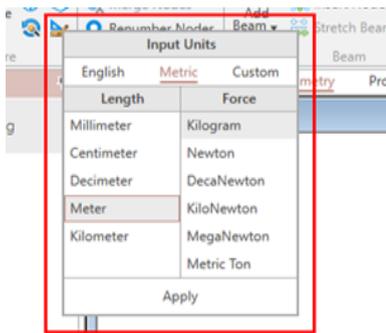
(b)

**Figura 7.** (a) Reacciones de apoyo en grúa puente, (b) Desplazamientos verticales por cargas de servicio

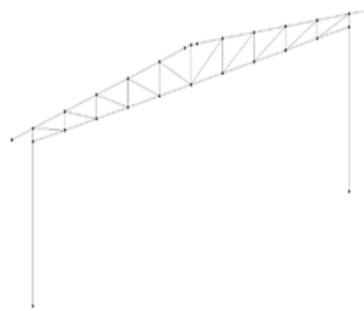
**Fuente:** Elaboración propia (2024)

## ***Diseño de los elementos estructurales de la nave industrial utilizando el software STAAD.Pro CONNET***

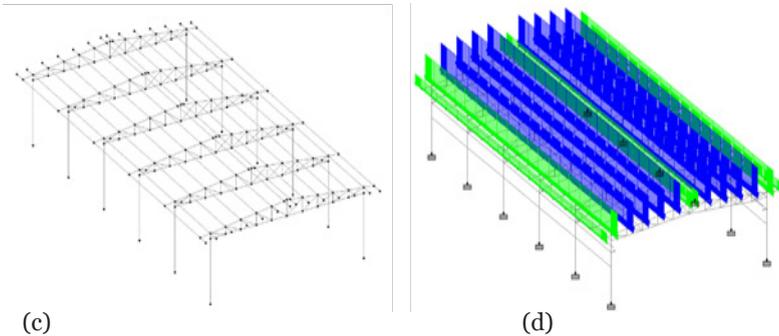
Para el diseño de la nave industrial, en primer lugar, se definieron la unidad de fuerza en kilogramos (*kg*) y la de longitud en metros (*m*) desde el comando *Input Units* (figura 8a). A continuación, se utilizó el comando *Add Beam* para conectar los nodos y dibujar el pórtico base (figura 8b) y las correas, de manera similar, se representó la estructura de la nave industrial (figura 8c).



(a)



(b)

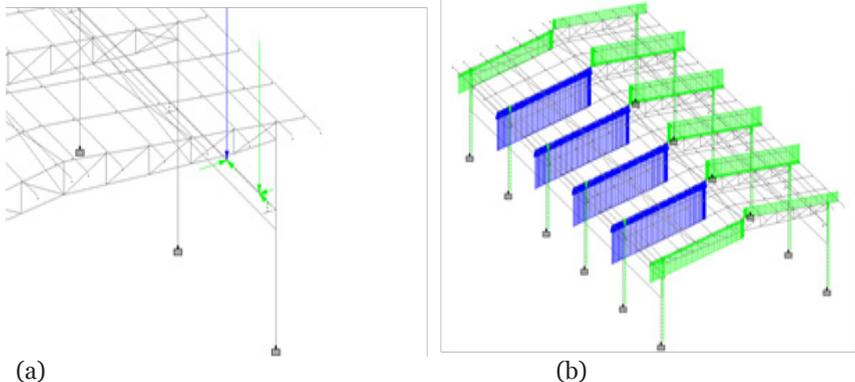


**Figura 8.** (a) Unidades de fuerza y longitud del modelo, (b) Geometría del pórtico base, (c) Geometría de la nave industrial, (d) Cargas actuantes sobre las correas

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Los efectos de carga muerta o permanentes (Abad y León, 2020) se introdujeron desde el comando *Load Cases Details*, en la opción *Load Case*. La magnitud de estas cargas se muestra en la tabla 2 (figura 8d).

Las cargas transmitidas por la grúa puente a la viga carrilera de la nave industrial se detallan en la tabla 4 (figura 9a). El efecto de la carga de viento o climático (Viveros, 2023), presentado en la tabla 7, se modeló como una carga distribuida, utilizando el criterio de ancho colaborante (figura 9b). La carga sísmica en la simulación se introdujo mediante el cálculo del espectro de diseño (figura 9c), (NEC 2015; Cortes y Orellana, 2021). El análisis estructural se realizó utilizando el comando *Analysis*, en la opción *Define Commands*, con la verificación de *Statics Check* (figura 9d).



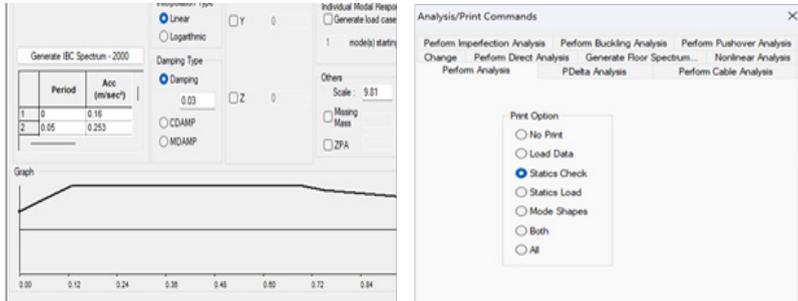


Figura 9. (a) Cargas de la grúa puente a la viga carrilera, (b) Efecto de la carga del viento sobre la nave industrial, (c) Efecto de la carga sísmica espectro de diseño, (d) análisis de la estructura

Fuente: Elaboración propia (2024)

El chequeo del código se realizó utilizando el comando *Design*, en la opción *Commands*, con la opción *CHECK CODE* (figura 10a). El periodo de vibración fundamental de la estructura resultó 0,37 segundos (figura 10b). El porcentaje de masa participativa se presenta en la figura 10c. Esto derivó 94,51% en la dirección de análisis sísmico "X" y 98,073% en la dirección "Z". El cortante a nivel base de la nave industrial fue de 14.082,00 kg en dirección "X" y de 12.540,81 kg en dirección "Z" (figura 10d), (Melgar, 2022).

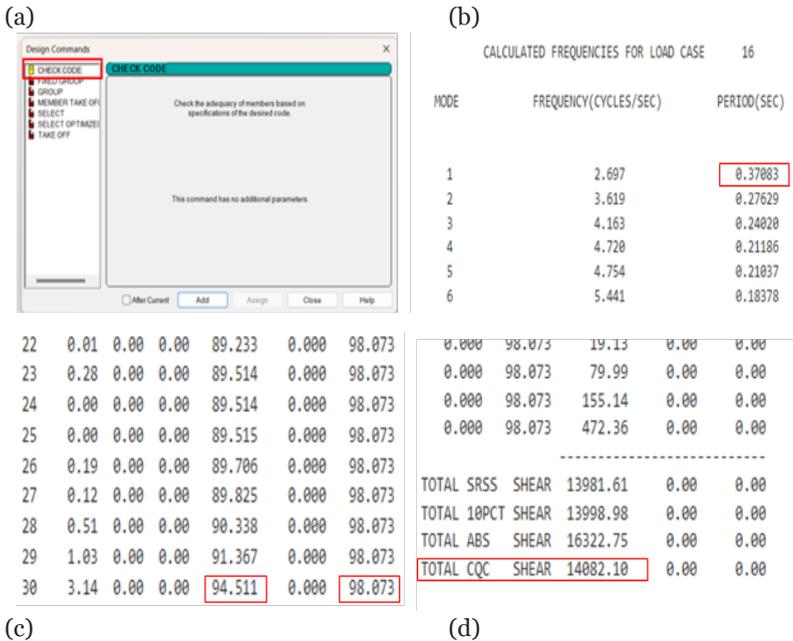


Figura 10. (a) Chequeo del código LFRD, (b) Periodo fundamental de la estructura, (c) Porcentaje de masa acumulada, (d) Cortante basal

Fuente: Elaboración propia (2024)

Las derivas fueron calculadas de acuerdo con lo establecido en (NEC, 2015) empleando las ecuaciones 8 y 9. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9.

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E \quad (8)$$

$$\delta = \frac{0.75R\Delta_E i - 0.75REi - 1}{h} \quad (9)$$

Donde  $R$  es el factor de reducción de respuesta,  $\Delta_E$  es el desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas y  $h$  es la altura entre niveles consecutivos.

**Tabla 9. Derivas inelásticas en dirección al análisis sísmico “X” y “Z”**

Altura (m)	Nodo número	$\Delta E$ (mm)	$\Delta M$ (mm)	$\sigma$	Control
0,00	122	0,00	0,00	0,000	ok
6,70	127	13,15	29,59	0,0044	ok

Altura (m)	Nodo número	$\Delta E$ (mm)	$\Delta M$ (mm)	$\sigma$	Control
0,00	182	0,00	0,00	0,0000	ok
3,00	187	5,23	11,77	0,0018	ok

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Para el criterio de columna fuerte - viga débil, se calculó la suma de los momentos plásticos de las columnas HEB320 que llegan al nodo, obteniendo un valor de 47.513,40 kgm. Por otro lado, la suma de los momentos plásticos de las vigas IPE270 fue de 12.245,20 kgm, según se detalla en la tabla 10.

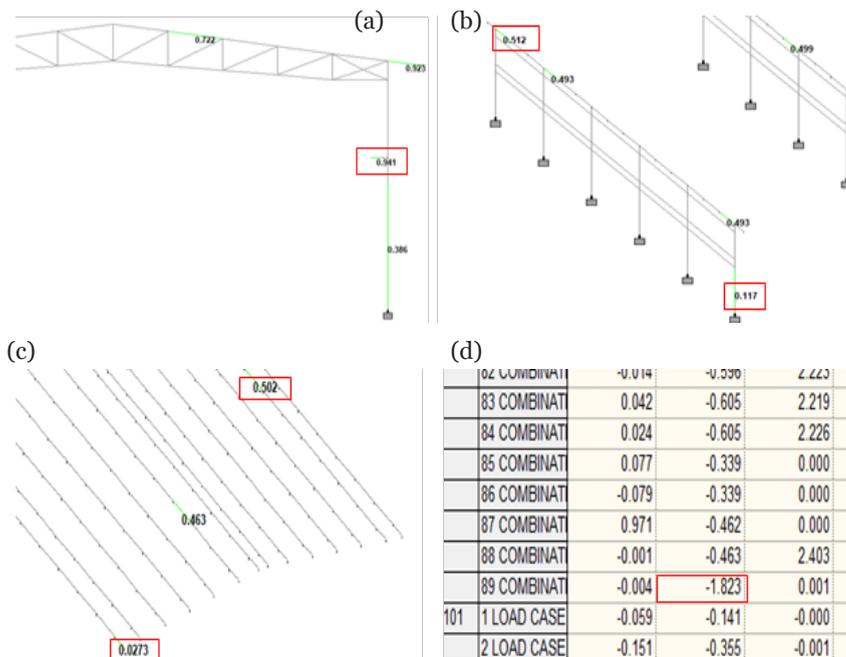
**Tabla 10. Cálculo de los momentos plásticos de la columna y viga**

Columna	Viga	$F_y$ columna (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_y$ viga (kg/cm <sup>2</sup> )	$Z_z$ columna (cm <sup>3</sup> )	$Z_z$ viga (cm <sup>3</sup> )	$M_{pc}$ (kgm)	$M_{pv}$ (kgm)
HEB320	IPE270	2.530,00	2.530,000	939,00	484,00	47.513,40	12.245,20

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

La relación entre el efecto de la carga última y la capacidad reducida de la sección (ratio) para el pórtico de carga más desfavorable resultó 0,941, como se muestra en

la figura 11a. En el caso del pórtico de amarre (figura 11b), el valor de la relación varió entre 0,117 y 0,512. Para las correas, la relación fue de 0,0273 a 0,502, según se observa en la figura 11c. Los resultados de las deflexiones se muestran en la figura 11d. Dicho valor resultó de 1,823 *cm* para el pórtico de carga más desfavorable.



**Figura 11.** (a) Ratio en el pórtico más desfavorable, (b) Ratio en los elementos de los pórticos de amarre, (c) Ratio en las correas, (d) Deflexión máxima en pórtico

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

## Resultados y discusión

### Análisis e interpretación de los resultados del puente grúa

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos del diseño de los componentes estructurales de la grúa puente.

**Tabla 11. Resultados del diseño del puente grúa**

Ratio actuante	Ratio permisible	Deflexión actuante (mm)	Deflexión permisible (mm)
0,774	1,00	36,23	39,94

**Fuente:** Elaboración propia (2024)

Según la tabla 11, la relación entre el efecto actuante y la capacidad minorada de la sección (ratio) fue de 0,774, valor que se encuentra por debajo del límite permisible establecido en 1, según la norma (AISC 360-16, 2016).

La deflexión actuante bajo cargas de servicio fue de 36,23 mm (figura 7b), un valor que se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos por la norma (AISC 360-16, 2016; Teruel, Zeitun y Medina, 2020). El valor admisible fue calculado empleando la ecuación 10.

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{360} = \frac{14380}{360} = 39,94mm \quad (10)$$

### ***Análisis e interpretación de los resultados de la nave industrial***

En la tabla 12, 13 y 14 se muestran los resultados obtenidos del diseño de los componentes estructurales de la nave industrial.

**Tabla 12. Periodo y masa modal**

Periodo según STAAD (s)	Periodo según norma (s)	Porcentaje de masa participativa en "X" STAAD (%)	Porcentaje de masa participativa en "Z" STAAD (%)	Porcentaje de masa participativa según norma 90 (%)
0,37	0,37	94,511	98,073	90,00

**Fuente:** Elaboracion propia (2024)

**Tabla 13. Cortante basal y derivas**

Cortante basal en "X" según STAAD (Ton)	Cortante basal en "Z" según STAAD (Ton)	Cortante basal según norma (Ton)	Deriva máxima calculada "X"	Deriva máxima calculada "Z"	Deriva permisible según norma
14,08	12,54	15,71	0,0044	0,0018	0,020

**Fuente:** Elaboracion propia (2024)

**Tabla 14. Criterio del nudo, ratio y desplazamientos verticales**

Criterio columna fuerte - viga débil	Criterio columna fuerte viga débil permisible	Ratio actuante	Ratio permisible	Deflexión actuante en pórtico (mm)	Deflexión permisible (mm)
3,89	≥ 1	0,941	1	18,23	41,66

**Fuente:** Elaboracion propia (2024)

Según la tabla 12, el periodo de vibración fundamental (Toujague, Sánchez, y González, 2018) resultó ser de 0,37 segundos, valor que se encuentra dentro del límite permisible establecido por la norma (NEC, 2015). El valor admisible fue calculado empleando la ecuación 11.

$$T = 0,00,72 * 7,7^{0,80} = 0,37 \text{ s} \tag{11}$$

El porcentaje acumulado de masa participativa en las direcciones de análisis sísmico (Bravo y Jiménez, 2019) fue de 94,511% y 98,073% (ver figura 10c), valores que se encuentran dentro de lo estipulado por la norma (NEC, 2015). El reglamento establece que deben considerarse en el análisis todos los modos de vibración que contribuyan a la respuesta total de la estructura, y que impliquen una participación de la masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la edificación en las direcciones de análisis sísmico consideradas.

En base a la tabla 13, el cortante basal (Soto y Calsin, 2024; Yousouf y Cerezáles, 2023) resultó 14,08 y 12,54 toneladas en las direcciones "X" y "Z" respectivamente. Estas derivaciones están dentro de lo permisible según norma (NEC, 2015), donde se indica que para estructuras regulares el cortante basal calculado por el análisis dinámico deber ser de al menos el 80% del cortante basal calculado empleando la ecuación 12.

$$V = \frac{1 * 1,1904}{3 * 1 * 1} 39,603 = 15,71 \text{ Ton} \tag{12}$$

Las derivas inelásticas (Melgar, 2022) resultaron en la dirección “X” 0,0044 y en “Z” 0,0018. Estos resultados están por debajo del valor permisible según norma (NEC, 2015), la cual establece un valor máximo de 0,02, ver tabla 13.

Según la tabla 14, el criterio de columna fuerte - viga débil resultó en un valor de 3,89, el cual es superior al valor permisible, que debe ser mayor o igual a 1. (NEC, 2015; Flores, 2023)

El ratio máximo en los elementos de la nave industrial fue de 0,941, un valor que se encuentra por debajo del límite permisible establecido por la norma (AISC 360-16, 2016) En cuanto a las deflexiones, el valor máximo en el pórtico más desfavorable fue de 18,23 mm. Valor que está dentro del límite admisible, (Orihuela y Dávila , 2018) el cual fue calculado empleando la ecuación 13.

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{360} = \frac{15000}{360} 41,66mm \quad (13)$$

## Conclusiones

### Puente grúa

Las vigas de la grúa puente fueron diseñadas con perfiles rectangulares de 30x60x1,58 cm mientras que las vigas de apoyo (testeras) resultaron de sección 15x30x1,27 cm, ver figura 1.

El diseño de la grúa puente cumple con los requisitos de capacidad (ratio) y de servicio (deflexiones) establecidos por la norma aplicable (AISC 360-16, 2016).

### Nave industrial

La sección transversal de los elementos de la nave industrial quedó conformada por las siguientes secciones: columnas con perfiles HEB 320, vigas de amarre con perfiles IPE 270, cordones principales de la cercha, correas y arriostramientos entre cerchas con perfiles IPE 140, y cordones internos de la armadura y arriostramientos entre correas perfiles IPE 100, ver figura 2.

El diseño estructural de la nave industrial cumple con los requisitos sismorresistentes establecidos en la norma (NEC, 2015), abarcando aspectos como el periodo de vibración, porcentaje de masa participativa, cortante basal, las derivas, control del criterio columna fuerte - viga débil, el ratio y las deflexiones (AISC 360-16, 2016).

## **Referencias bibliográficas**

- Abad, H., y León, G. (2020). Evaluación estructural de un domo de acero de grandes luces con cobertura flexible en Paita, Piura. [Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma (director: Francisco Gárate)]. <https://scolar.google.com/>
- AISC. 360-16. (2016). Specification for Structural Steel Buildings. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16w-rev-june-2019.pdf>.
- Bach, C. (2022). Análisis estructural comparativo por elementos finitos de una vivienda multifamiliar de cuatro niveles orientado a especificaciones estructurales normadas. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo (director: Luis Clemente)]. <https://scolar.google.com/>
- Berny, E., y Reinoso, E. (2018). Efectos de la dirección del viento en la vulnerabilidad de naves industriales.[conferencia]. En XXI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. <https://scolar.google.com/>
- Bravo, L., y Jiménez, B. (2019). Diseño de nave industrial con dos puentes grúas de 10 ton. [Tesis de grado, Escuela Superios Politécnica del Litoral (director: Carlos Quishpe)]. <https://scolar.google.com/>
- Cortes, J., y Orellana, W. (2021). Evaluación del comportamineto estructural de conexiones semirígidas unión viga columna sometida a flexión mediante el análisis por elemntos finitos. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica Salesiana (director: Juiña Quilachamín y Luis Christian)]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21205>
- COVENIN. (1988). Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. [https://www.fau.ucev.edu.ve/idec/normas\\_construccion/Norma2002\\_8\\_CRITERIOS.pdf](https://www.fau.ucev.edu.ve/idec/normas_construccion/Norma2002_8_CRITERIOS.pdf).
- Flores, M. (2023). Diseño de coexión viga-columna precalificada (bueep 4e) del código ANSI/AISC 358-16 y su comparativa con software de diseño ram connection. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala (director: Luis Saravia)]. <https://scolar.google.com/>
- Garrido, I. (2021). Diseño y cálculo de la estructura de una nave industrial para uso logístico. [Tesis de grado, Universidad de Valladolid (director: José Alonso)]. <https://scolar.google.com/>
- González, A., Hoyos, C., y Sánchez, D. (2017). Comparativa del análisis estructural realizado con el software staad y métodos manuales tradicionales. RITI Journal, 5(10),138-143.
- Huaroc, E. (2018). Diseño de un puente grúa para el winche de servicios en Mina Yauricocha . [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú (director: Huaman Maximo)]. <https://scolar.google.com/>

- Mayorga, J. (2021). Diseño paramétrico de celosías metálicas para naves industriales utilizando algoritmos de optimización en un entorno bim. [Tesis de maestría, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos de Barcelona (director: Rolando Chacón)]. <https://scolar.google.com/>
- Melgar, J. (2022). Diseño estructural de un atrio escolar tipo nave industrial. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú (director: Luis Yeckle)]. <https://scolar.google.com/>
- NEC. (2015). Cargas no sismicas NEC - SE - CG. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>.
- NEC. (2015). Peligro sismico diseño sismo resistente. NEC - SE - DS. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>.
- Novacero. (1973). El acero del futuro.
- Orihuela, J., y Dávila , R. (2018). Cálculo y diseño estructural de una nave industrial aplicando la normativa AISC en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (director: Javier Moreno)]. <https://scolar.google.com/>
- Panta, D. (2021). Análisis y diseño de nave industrial de concreto armado con puente grúa. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú (director: Daniel Quiun)]. <https://scolar.google.com/>
- Porras, I. (2021). Comparación del modelamiento, análisis y diseño estructural de una nave industrial utilizando los programas etabs y staad pro. [Tesis de grado, Universidad del Valle de Guatemala (director: Otoniel Echeverría)]. <https://scolar.google.com/>
- Rodríguez, A. (2021). Dimensionamiento y comprobaciones de los elementos estructurales de una nave industrial. [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid (director: Mariano Cacho)]. <https://scolar.google.com/>
- Rodriguez, E. (2015). Análisis y diseño comparativo entre una torre autosoportada triangular de 40m de altura con montantes uv y una con montante circulares. [Monografía, Universidad de Cuenca (director: Robeto Gamón)]. <https://scolar.google.com/>
- Sánchez, A. (2022). Diseño y cálculo estructural de una nave industrial. [Tesis de grado, Universidad Europea de Madrid (director: Javier Moreno)]. <https://scolar.google.com/>
- Saravia, M. (2021). Análisis sísmica empleando Software etabs para evaluar la efectividad del comportamiento sismoresistente de un edificio de servicios. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo (director: Sleyther De La Cruz Vega)]. <https://scolar.google.com/>

Solorzano, V., y Vargas, K. (2024). Guía de diseño de viga carrilera de naves industriales con puente-grúa con base en la norma norteamericana y algunas normativas latinoamericanas. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (director: Junior Orihuela)]. <https://scolar.google.com/>

Soto, J., y Calsin, G. (2024). Propuesta de diseño estructural de nave industrial para mejorar los problemas de operatividad industrial ocurridos durante la ejecución del proyecto big-box en la fábrica Mondelez. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (director: Paulo Mejía)]. <https://scolar.google.com/>

STAAD.Pro CONNET. (2023). Bentley (Version 2023). [Software]. <https://www.bentley.com/software/staad/>.

Teruel, D., Zeitun, E., y Medina, O. (2020). Diseño estructural del teatro y anfiteatro de plaza de la cultura San Pedro Sula. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Centroamericana (director: Luis Hernán)]. <https://scolar.google.com/>

Toujague, H., Sánchez, D., y González, L. (2018). Comportamiento estructural ante acciones sísmicas de una nave industrial de acero en Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(4), 1-10.

Vargas, W. (2017). Diseño estructural de nave industrial metálica para mejoramiento de almacenes en Av. Argentina, Callao-2017. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo (director: Félix Delgado)]. <https://scolar.google.com/>

Viveros, O. (2023). Análisis estructural de una nave industrial con cubierta tipo arcotechosometida a cargas de viento en la ciudad de Veracruz, para determinar su estabilidad, mediante el uso del software STAADPro. [Tesis de grado, Universidad Villa Rica (director: Mario Carretero)]. <https://scolar.google.com/>

Youssef, A., y Cerezales, E. (2023). Análisis estructural de edificio de cinco niveles con una adaptación cubana del sistema forsa. *Revista de Investigación*, 2(1), 66-78. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.36>