

Topographic Structural Monitoring: an essential tool for the structural evaluation of industrial buildings during the construction process

Monitoreo estructural topográfico: una herramienta esencial para la evaluación estructural de naves industriales durante el proceso constructivo

Autores:

Carrasco-Cajamarca, Cristhian Alexander
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Posgradista de la Maestría en Ingeniería Civil
con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca – Ecuador



cacarrascoc58@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-3019-5721>

Ing. Maldonado-Noboa, Cesar Humberto
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente Tutor del área
Cuenca – Ecuador



cmaldonadon@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-0383-5460>

Ing. Maldonado-Noboa, Juan Sebastián
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente Tutor del área
Cuenca – Ecuador



jmaldonadon@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>

Fechas de recepción: 01-ABR-2025 aceptación: 01-MAY-2025 publicación: 30-JUN-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigador.com/>



Resumen

Esta investigación se centra en el monitoreo estructural en la construcción de naves industriales esta una práctica que asegura la seguridad y eficiencia durante el proceso de construcción. Consiste en la instalación de dispositivos de medición, como prismas y una estación total, en puntos estratégicos de la estructura. Estos dispositivos recopilan datos de, deformaciones y desplazamientos a las que está expuesta la nave durante su construcción.

El monitoreo continuo permite detectar tempranamente cualquier irregularidad o anomalía en la estructura, lo que ayuda a prevenir posibles accidentes o daños mayores. Además, proporciona la capacidad de ajustar o modificar el proceso constructivo para garantizar la estabilidad y seguridad de la nave.

Una de las principales ventajas del monitoreo estructural es su capacidad para optimizar los costos de mantenimiento a largo plazo. Al identificar y corregir problemas estructurales de forma oportuna, se evitan gastos innecesarios en reparaciones y se prolonga la vida útil de la nave industrial.

Además, el monitoreo estructural mejora la eficiencia y el control de calidad en la construcción de naves industriales. Permite seguir de cerca el desempeño de la estructura y verificar su comportamiento de manera precisa y eficiente. Este enfoque proactivo no solo mejora la calidad general de la construcción, sino que también agiliza los procesos constructivos, conduciendo a una mayor eficiencia y rentabilidad.

Palabras clave: Nave Industrial; Monitoreo Estructural; Deformaciones; Sensores; Vibración, Topografía

Abstract

This research focuses on structural monitoring in the construction of industrial buildings. This practice ensures safety and efficiency during the construction process. It involves installing measuring devices, such as prisms and a total station, at strategic points on the structure. These devices collect data on the deformations and displacements to which the building is exposed during construction.

Continuous monitoring allows for early detection of any irregularities or anomalies in the structure, helping to prevent potential accidents or major damage. It also provides the ability to adjust or modify the construction process to ensure the stability and safety of the building. One of the main advantages of structural monitoring is its ability to optimize long-term maintenance costs. By identifying and correcting structural problems in a timely manner, unnecessary repair expenses are avoided, and the lifespan of the industrial building is extended.

Furthermore, structural monitoring improves efficiency and quality control in the construction of industrial buildings. It allows for close monitoring of the structure's performance and accurate and efficient verification of its behavior. This proactive approach not only improves overall construction quality but also streamlines construction processes, leading to greater efficiency and profitability.

Keywords: Industrial warehouse; Structural monitoring; Deformations; Sensors; Vibration, Topography

Introducción

La industria moderna ha impulsado la construcción de naves industriales de gran tamaño y con altos estándares de resistencia, seguridad y durabilidad. Este tipo de estructuras son diseñadas con el fin de soportar cargas significativas en donde el fin de cada estructura es la manufactura, la logística y el almacenamiento, por lo que su estabilidad y desempeño son de vital importancia para la seguridad y eficiencia de las operaciones dentro de la infraestructura construida. Sin embargo, el proceso constructivo de una nave industrial es complejo y presenta desafíos significativos, ya que involucra la unión de pórticos a distancias convenientes las cuales pueden ser de vigas laminadas, soldadas o de vigas de celosía (Arnal et al., 2014).

El monitoreo estructural se ha venido desarrollando desde finales del siglo XIX con el fin de detectar fallas o grietas mediante métodos de reconocimiento visual o aditivo que eran las alternativas más utilizadas cuando se carece de tecnología para realizar un estudio adecuado. En los últimos años las estructuras civiles se han visto obligadas a tener un sistema de monitoreo estructural para definir rápidamente los niveles de seguridad, los mismos que están compuestas por un sinnúmero de sensores distribuidos a lo largo de toda su estructura para obtener datos en tiempo real y ser procesados en una unidad central de procesamiento de datos (Suarez Ortiz, 2019).

El monitoreo estructural durante la fase constructiva ha surgido como una herramienta esencial para evaluar la integridad de estos edificios en tiempo real, detectando posibles problemas en etapas tempranas y permitiendo correcciones antes de que estos escalen en gravedad (Rao et al., 2022). A diferencia de las inspecciones estructurales tradicionales, el monitoreo estructural emplea tecnologías avanzadas, tales como sensores de tensión, acelerómetros y sistemas de análisis en tiempo real, para proporcionar información detallada y continua sobre el comportamiento de la estructura (Sun et al., 2010). Esto no solo permite un seguimiento preciso de variables críticas (como deformaciones, vibraciones y desplazamientos), sino que también ofrece la posibilidad de identificar y mitigar riesgos de falla antes de que comprometan la integridad estructural o la seguridad del personal (Nguyen et al., 2017).

En este artículo, exploraremos en detalle el papel del monitoreo estructural en la construcción de naves industriales, destacando sus beneficios, aplicaciones y mejores prácticas. Desde la detección temprana de problemas hasta la prevención del colapso durante la etapa constructiva, examinaremos cómo esta práctica ha revolucionado la forma en que se abordan los desafíos estructurales en la industria de la construcción. Además, analizaremos un caso de estudio y ejemplos concretos que ilustran la efectividad del monitoreo estructural en la garantía de la seguridad, eficiencia y durabilidad de las naves industriales.

El objetivo de este artículo es evaluar el impacto y la eficacia del monitoreo estructural durante el proceso constructivo de naves industriales. A través de la implementación de sistemas de monitoreo en base a la topografía en una nave industrial, se analizará cómo esta

metodología puede mejorar la seguridad, reducir los peligros de colapso y minimizar las interrupciones en el cronograma de construcción. Este estudio busca aportar una visión integral sobre las ventajas de incorporar el monitoreo estructural como parte fundamental del proceso de construcción de estructuras industriales, contribuyendo así a la mejora de prácticas y estándares en la industria.

En el campo de la construcción las naves industriales cumplen un papel fundamental en que se sustenta la funcionalidad y seguridad de estas edificaciones. Es una infraestructura destinada a albergar la producción y/o almacenamiento de bienes producto de diferente índole, estas edificaciones son participes de la actividad económica de las diferentes industrias y empresas participes en la práctica económica de una urbe que cumplen la finalidad de protección ante las inclemencias atmosféricas, y generan las condiciones adecuadas para el desarrollo laboral (Quinde Duchitanga, 2016).

El monitoreo se ha considerado como un campo investigativo de carácter emergente, el alto costo de tener un sistema eficiente para el monitoreo excluye a obras pequeñas de los grandes proyectos. El interés por verificar la seguridad y la calidad de las edificaciones son aspectos que día a día se han ido desarrollando, esto a través del monitoreo en base a sensores; Esta herramienta se ha venido utilizando para evaluar tanto el estado como el comportamiento en tiempo real; permitiendo obtener datos precisos y continuos de los factores que afectan la salud estructural, ayudando así en la toma de decisiones sobre el estado de la edificación.

En el año 2010 Nuñez y Boroshek presenta el monitoreo realizado en un edificio alto durante el proceso constructivo. El monitoreo se realizó a través de una red de sensores de acelerómetros durante 5 meses; los datos obtenidos acuerdan a vibraciones de tipo ambiental y operacional debido a los procesos constructivos. Los resultados fueron obtenidos de propiedades dinámicas y variaciones permanentes; para la evaluación de las propiedades se utilizaron técnicas paramétricas y no paramétricas de identificación. Los resultados obtenidos a partir de identificación de las propiedades modales en donde fueron correlacionados por diferentes submodelos de elementos finitos adaptativos, creados a partir del modelo del edificio completo según las diferentes etapas de construcción (Nuñez & Boroshek, 2010).

El campo de la tecnología se ha ido desarrollando en diversas actividades facilitando la vida diaria al ser humano. Hace varios años el uso diario de los dispositivos móviles cumplían el único objetivo de la comunicación, sin embargo, hoy en día el IoT o internet de las cosas ha generado un avance muy importante en la industria de la construcción, revolucionando así los procesos constructivos, el mantenimiento y la salud estructural.

Los avances en la tecnología de monitoreo estructural incluyen una variedad de sistemas, desde sensores convencionales hasta tecnologías emergentes como los sensores y los sistemas de monitoreo inalámbricos. Los sensores de fibra óptica son populares por su capacidad para medir deformaciones y tensiones con alta precisión, y su resistencia a las interferencias electromagnéticas, lo que los hace ideales para entornos industriales exigentes (Wang & Zhou, 2018). Por otro lado, los sistemas de monitoreo inalámbricos están siendo cada vez más utilizados debido a su facilidad de instalación y la capacidad de

recolección de datos en tiempo real, lo que facilita la supervisión continua sin afectar el proceso constructivo (García & Torres, 2022).

El monitoreo en tiempo real de obras civiles para la obtención de registros de su respuesta es una de las estrategias usadas en el proceso de estudio y entendimiento del comportamiento estos sistemas pueden ayudar a tomar medidas oportunas para proteger a los usuarios de estas estructuras de las condiciones que amenazan la vida, como cierre preventivo o colapso(Fingerhuth & Alcaíno, 2018).

Desde otra perspectiva en el mundo el colapso de estructuras según Alegre, Rodenas y Villalba en el año 2012, la falta de mantenimiento preventivo y el diseño estructural presentan dos casos de estudio de colapso en estructuras de cubiertas con celosía metálica, el primer caso corresponde al colapso de la estructura del Hartford Civic Center y el segundo caso el colapso de un polideportivo en la provincia de Gerona siendo la principal causa el pandeo local de una barra causado por la acumulación de una fuerte nevada(Alegre et al., 2012).

Figura 1

Colapso de Cubiertas en el Gerona durante la fase de montaje.





Fuente: Colapso de la cubierta metálica de un polideportivo; patologías singulares y Recurrente. Autor: Alegre et al., 2012.

En otro estudio, Licinio Rivero Fernández identifican varios casos de hundimientos de cubiertas de naves industriales que evidencian patrones relacionados con los fallos de diseño, montaje y mantenimiento. Estos colapsos proporcionan información para optimizar la práctica constructiva y prevenir las fallas estructurales.

En el País Vasco, en el 2007, Licinio Rivero Fernández presenta un caso de una nave industrial de 1000 m² con pórticos prefabricados de 20 m de luz en el cual la acumulación de 40 cm de nieve generó una sobrecarga que superó la resistencia de las uniones atornilladas las mismas que fallaron debido a un diseño que no consideró adecuadamente las cargas adicionales por nieve. Por otra parte, el mismo autor, en el 2007 surge un nuevo caso en Navarra de una nave industrial de 1200 m² con pórticos atirantados de 24 metros de luz en donde por la acumulación de 30 a 35 cm de nieve se generaron tracciones excesivas en los tirantes causando la ruptura de los empalmes atornillados debido a errores de diseño en las conexiones. Por último, en Andalucía, otra nave Industrial de 3000 m² con pórticos de 40 metros de luz y una nevada de 15 cm provocó el fallo de los dinteles debido a la inclinación de los pilares y ajustes incorrectos durante el montaje. Estas desviaciones generaron esfuerzos no previstos y excedieron la capacidad de carga de la estructura (Fenández Rivero, 2007).

En el Ecuador las principales causas de colapsos de cubiertas están relacionadas con las condiciones climáticas extremas, diseños deficientes o la falta de mantenimiento adecuado para la estructura. Un notable caso ocurrió en el año 2022 en una iglesia del barrio Nuevo al sur de Quito lo cual colapso debido a una fuerte lluvia y el granizo registrado en la zona provocaron el colapso de la estructura (Ecuavisa, 2022).

En el mismo año, en el sector del Quinche al nororiente de Quito tres personas fallecieron debido al colapso de una estructura en construcción. Las investigaciones preliminares indicaron que el siniestro fue causado por las deficiencias en el diseño y la falta de experticia en la ejecución de la obra. La insuficiencia supervisión derivó el desplome total de la infraestructura(El Comercio, 2022).

Figura 2
Colapso de Cubiertas en el Ecuador durante la fase de construcción.



Fuente : El Comercio

Material y métodos

En el presente artículo, se seleccionó una nave industrial en fase de construcción como caso de estudio. Se optó por esta estructura debido a su complejidad y a los desafíos que representa en cuanto a estabilidad estructural y resistencia a cargas de diseño. La nave industrial tiene una configuración típica de estructuras industriales, con columnas y vigas de celosía de acero A36 que soportan una cubierta de Steel Panel. La nave industrial para este caso de estudio considera los siguientes datos:

Tabla 1
Características Estructurales de la Nave Industrial

MATERIAL	Estructura: Acero A36
	Techo: Galvalume
DIMENSIONES	Largo: 29 metros Ancho: 20 metros Alto: 8.00
USO	Cubierta para cancha de uso múltiple
UBICACIÓN	Lican – Riobamba -Chimborazo
CONDICIONES CLIMÁTICAS	Viento de 5 a 10 km/h Clima Frío
CONDICIONES SÍMICAS	Zona III Alta
CARGA MUERTA	w Elementos w techo W: 10 Kg/m ²
CARGA VIVA	40 Kg/m ²
Carga de granizo	0.50 kN/m ²
Carga de viento	Barlovento: 0.25 kN/m ² Sotavento: -0.22 kN/m ²
CARGA DINÁMICA	Vibraciones Impacto
TIPO DE SUELO	Tipo C

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se define los diferentes perfiles que conforman la estructura las mismas que están diseñadas en forma de celosía que comprenden vigas y columnas, de acuerdo con el análisis estructural realizado se definen los siguientes perfiles.

Tabla 2
Perfiles estructurales

COLUMNAS	
C 150X50X3 mm	2L 40x40x3 mm
VIGAS	
C 150X50X3 mm - INFERIOR	G 125x50x15x2 mm
C 150X50X2 mm - SUPERIOR	L 30x30x3 mm
PLACA BASE	
420x240x8 mm	

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a definir la configuración estructural, cargas de diseño entre otros factores que se utiliza para el modelo computacional se obtiene los resultados que a posterior serán analizados con las diferentes cargas actuantes en la parte constructiva de la nave industrial.

Figura 3
Modelo Estructural y Modelo Físico de la Nave Industrial



Fuente : Elaboración propia.

La identificación de variables de interés es clave para asegurar un monitoreo efectivo de la estructura, ya que permite captar las respuestas más relevantes bajo diferentes condiciones de carga y uso. Para una nave industrial, se deben seleccionar las variables que reflejen el estado estructural, el comportamiento dinámico y el impacto de factores ambientales entre otros. A continuación, se detallan las principales variables de interés:

Deformación y Desplazamiento

La deformación en los elementos estructurales mide el cambio relativo de longitud en vigas y columnas, lo cual permite evaluar el nivel de deformaciones que pueden afectar la integridad estructural. Por otro lado, los desplazamientos en los puntos específicos de la estructura indican movimientos horizontales y verticales causados por las cargas aplicadas o asentamientos diferenciales, esenciales para detectar potenciales problemas de estabilidad.

Dinámicas

La frecuencia de vibración natural de la estructura cambia con el tiempo debido a posibles deterioros. Es una variable fundamental para detectar daños y cambios en la rigidez estructural. Es por ello que monitorear la aceleración permite identificar la respuesta de la estructura ante cargas dinámicas, como el viento, maquinaria en operación y movimientos sísmicos.

Cargas Muertas

Las cargas de ocupación reflejan el peso variable sobre el suelo y el techo debido a equipos, materiales y personal. Es importante para evaluar el desempeño de la estructura bajo carga operativa; especialmente en estructuras altas, el viento puede generar fuerzas significativas que afectan la estabilidad y que deben ser monitoreadas para evaluar su impacto a lo largo de la ejecución del proyecto.

Inclinación y rotación

La inclinación de elementos verticales genera cambios en la inclinación de las columnas y

vigas en donde indican posibles asentamientos o desplazamientos laterales que pueden comprometer la estabilidad de la estructura. Por otro lado, el giro en las conexiones entre los elementos permite detectar posibles daños o falta de rigidez en las uniones viga columna.

Instrumentación

El monitoreo se ejecutó con un equipo de topografía S3 de marca Trimble con una precisión de ± 0.002 mm/m y cuatro mini prismas de 1" de diámetro del reflector, los mismos que se colocaron en las esquinas de la nave industrial para determinar desplazamientos verticales de las columnas y horizontales en las vigas desde un punto base.

Figura 4

Instrumentación utilizada (Estación total Trimble S3 y prismas de ángulo recto de 90°)



Fuente : Elaboración propia.

Metodología

El desplazamiento se medirá con métodos topográficos en donde se emplearán instrumentos como estación total para capturar con exactitud los movimientos en puntos específicos de la nave industrial. La topografía permite monitorear el desplazamiento absoluto y relativo mediante la comparación de coordenadas obtenidas en diferentes momentos, detectando así desplazamientos horizontales y verticales.

Durante el proceso de constructivo, el sistema de monitoreo se define en etapas clave. Los datos de cada etapa serán tomados mediante dispositivos topográficos para identificar las variaciones entre cada etapa los mismo que pueden indicar problemas estructurales:

- **Etapla 1: Montaje de columnas.**

Durante la primera etapa del proceso constructivo, el enfoque es el monitoreo estructural de las columnas en donde se centró el montaje posicionamiento de las columnas metálicas que constituyen la nave industrial. Estos elementos se colocaron a través de una grúa sobre la placa base colocada en la cimentación.

Las columnas posteriores a su izaje se verifica la verticalidad y la alineación entre todas las columnas que conformar la nave industrial y se encuentra a plomo se procede a colocar los prismas en las esquinas para tener los puntos de referencias y empezar el monitoreo desde un punto de partida.

- **Etapla 2: Montaje de cerchas principales y correas**

La segunda etapa del proceso constructivo corresponde a la instalación de las cerchas y

correas metálicas que sujetan el techo. En esta fase se evalúa el desplazamiento vertical y el comportamiento de las uniones entre el desplazamiento de las vigas y columnas posterior al montaje de cada uno de los elementos.

Posterior a la correcta alineación entre las vigas y columnas se determinaron las posiciones finales de las cerchas principales

• Etapa 3: Montaje de la cubierta

La tercera y última etapa del proceso corresponde a la colocación de la cubierta metálica en toda el área de la nave industrial. Esta etapa es una de las más críticas debido a que influye una carga permanente sobre todo el sistema de vigas y columnas en el cual incluyen deformaciones tanto en cerchas principales, asentamientos y desplazamientos en el sistema estructural general.

El monitoreo estructural durante las tres etapas se llevó a cabo de acuerdo con una planificación de la frecuencia para medir y analizar la información obtenida. En este apartado se estableció un protocolo sistemático para garantizar la confiabilidad, prevención, y control de calidad durante todo el proceso constructivo.

Frecuencia de medición de datos

La frecuencia de medición se definió de acuerdo de dos criterios fundamentales como es la naturaleza de la etapa constructiva y el comportamiento de los elementos estructurales durante el montaje de cada uno.

Tabla 3
Frecuencias de medición

ETAPA	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	OBJETIVO
Montaje de Columnas	Al inicio de la colocación de las columnas	Verificación de la verticalidad y desplazamientos
Montaje de Cerchas	Tras la instalación de cada cercha	Verificación del desplazamiento en columnas de soporte
Montaje de Cubierta	Antes y después de la colocación de la cubierta	Verificación del desplazamiento vertical en las cerchas principales

Fuente : Elaboración propia.

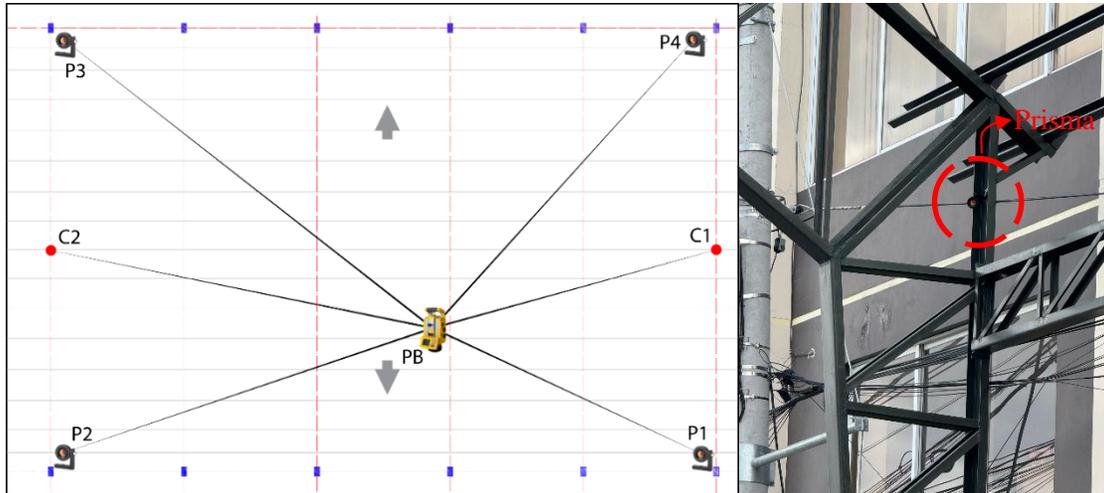
Análisis de desplazamientos

En el modelo estructural permite predecir los desplazamientos bajo distintas condiciones de carga. Estos resultados son críticos para evaluar el riesgo de pandeo o deformaciones excesivas. Los desplazamientos simulados se comparan con los datos obtenidos mediante el monitoreo topográfico, permitiendo validar la estabilidad estructural y la precisión del diseño en situaciones reales. En caso de que el desplazamiento real sea superior al simulado, se evalúa la causa para ajustar la rigidez de los elementos o mejorar los sistemas de soporte y anclaje, garantizando una mayor seguridad durante el proceso constructivo y la vida útil de la estructura.

Desde un punto de control (PB) ubicado dentro del área de la cubierta se procedió a la recolección de los datos mediante coordenadas UTM en X,Y,Z las mismas que son recolectadas durante todas las tres etapas del montaje para lo cual se coloca cuatro prismas en las esquinas de la cubierta a una altura de 5.85 desde el nivel del piso terminado y por otro lado se colocan puntos de referencia en el punto de inflexión de la cercha izquierda y cercha derecha los mismos que se encuentran en la parte inferior y superior de la cercha principal.

Figura 5

Ubicación del punto base y los prismas dentro de la nave industrial.



Fuente : Elaboración propia.

Resultados

Datos obtenidos del modelo estructural

El análisis detallado de los resultados del modelado estructural es fundamental para corroborar que la estructura cumpla con los requisitos de diseño y soporte las cargas operativas con seguridad. La integración de datos de sensores con simulaciones computacionales mejora la precisión del análisis, facilita la toma de decisiones informadas en caso de modificaciones de diseño y contribuye a la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo. Es por ello por lo que a continuación se muestra los resultados obtenidos en la modelación estructural de la nave industrial.

En base al análisis estructural de la Nave Industrial se obtiene los modos de vibrar el mismo que se muestran a continuación.

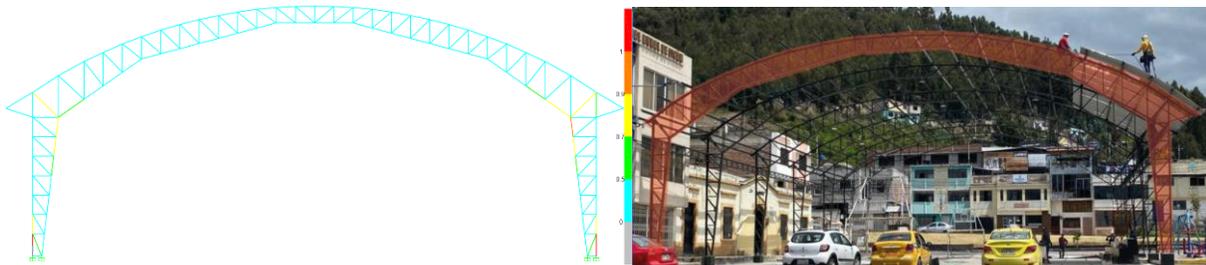
Tabla 4
Modos de vibración de la Estructura

Modo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Circular
	Sec	Cyc/sec	rad/sec
Modo 1	0.7400	1.3514	8.4913
Modo 2	0.2744	3.6448	22.9012
Modo 3	0.2340	4.2731	26.8489
Modo 4	0.1687	5.9264	37.2369
Modo 5	0.1666	6.0014	37.7079
Modo 6	0.1370	7.3006	45.8710
Modo 7	0.1246	8.0268	50.4337
Modo 8	0.1243	8.0466	50.5580
Modo 9	0.1200	8.3328	52.3566
Modo 10	0.1189	8.4077	52.8270
Modo 11	0.1187	8.4278	52.9534
Modo 12	0.1059	9.4438	59.3374

Fuente : Elaboración propia.

Se muestra el resultado del diseño estructural, en donde se puede apreciar que las secciones transversales son adecuadas, además, en ciertos elementos se empleará refuerzos en los perfiles, para solventar las solicitaciones de esfuerzos en los elementos con mayores esfuerzos.

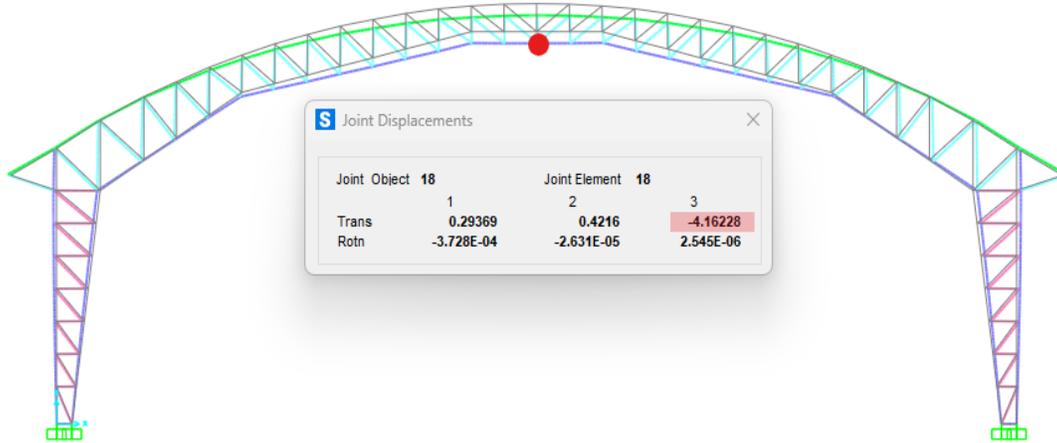
Figura 6
Capacidad de cada elemento estructural



Fuente : Elaboración propia.

Los desplazamientos obtenidos en los diferentes puntos donde se prevé monitorear los elementos que conforman la columna y la viga no debe sobrepasar de lo establecido en el modelo estructural debido a las cargas muertas de cada uno de los elementos colocados durante las tres etapas de montaje.

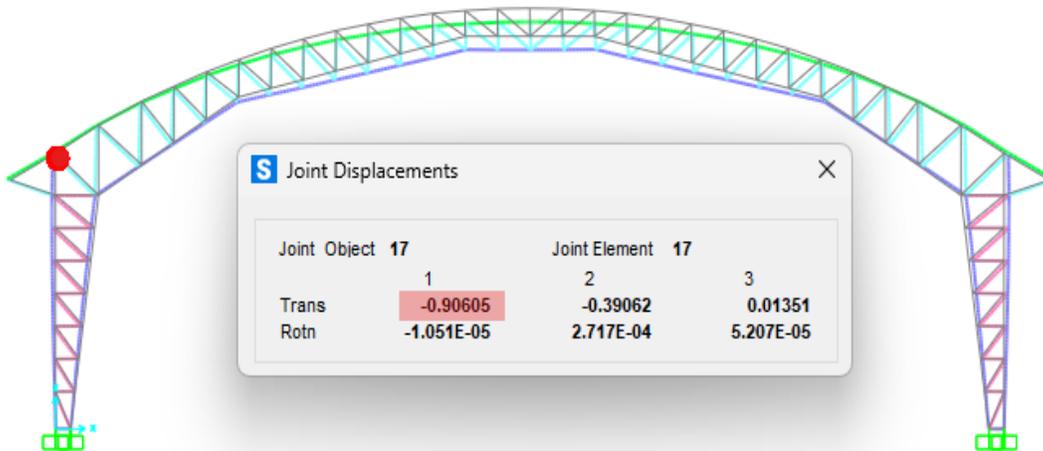
Figura 7
Desplazamiento VG principal en el nodo de control en sentido X-Y (mm)



Fuente : Elaboración propia.

Figura 8

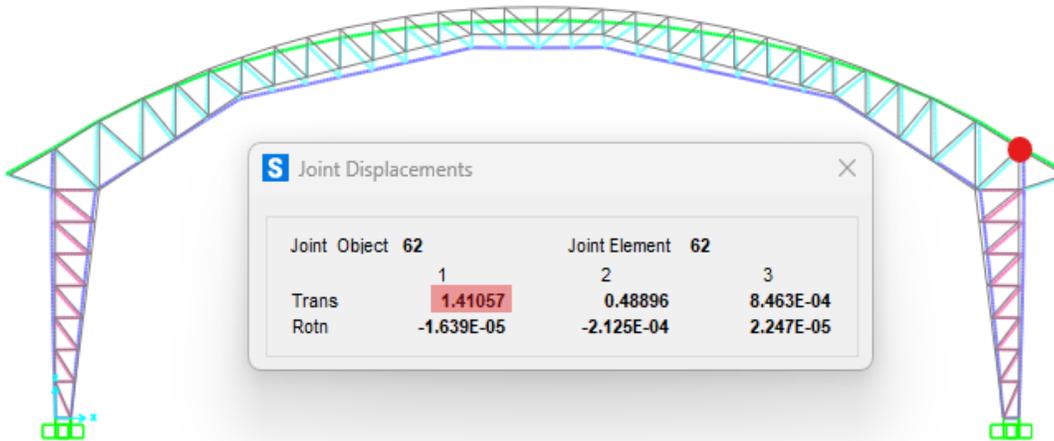
Desplazamiento CL izquierda en el nodo de control en sentido X-Y (mm)



Fuente : Elaboración propia.

Figura 9

Desplazamiento CL derecha en el nodo de control en sentido X-Y (mm)



Fuente : Elaboración propia.

Los desplazamientos se obtuvieron de las mediciones topográficas en los puntos de control establecidos en posiciones estratégicas de tal forma que los datos obtenidos del equipo topográfico se tabularon de acuerdo a cada punto de control y se identificaron los desplazamientos en cada uno de ellos tanto en el eje X, eje Y y eje Z.

En la Etapa 1 se estableció el punto de partida desde el punto base (PB) para la toma de datos iniciales posterior a ver sido colocado las columnas en su placa base y estar alineadas entre cada una que conforman la nave industrial, para esta etapa no se consideró la carga de las cerchas principales, correas y cubierta colocadas, para lo cual desde los datos mostrados a continuación muestran el punto de partida para el monitoreo estructural.

Tabla 5
Coordenadas UTM tomadas para la Etapa 1.

PUNTO BASE		
X:	755145.543	Y: 9817325.285
Z:	2929.423	
PRISMA 1		
X:	755153.926	Y: 9817311.736
Z:	2935.196	
PUNTO INFERIOR		
X:	755153.784	Y: 9817311.798
Z:	2929.852	
PUNTO SUPERIOR		
X:	755153.794	Y: 9817311.745
Z:	2935.664	
PRISMA 2		
X:	755130.352	Y: 9817327.154
Z:	2935.153	
PUNTO INFERIOR		
X:	755130.459	Y: 9817327.054
Z:	2929.880	
PUNTO SUPERIOR		
X:	755130.414	Y: 9817327.041
Z:	2935.660	
PRISMA 3		
X:	755142.777	Y: 9817346.125
Z:	2935.177	
PUNTO INFERIOR		
X:	755142.826	Y: 9817346.056
Z:	2929.871	
PUNTO SUPERIOR		
X:	755142.917	Y: 9817346.115
Z:	2935.655	
PRISMA 4		
X:	755166.246	Y: 9817330.595
Z:	2935.187	
PUNTO INFERIOR		
X:	755166.154	Y: 9817330.654
Z:	2929.865	
PUNTO SUPERIOR		
X:	755166.180	Y: 9817330.715
Z:	2935.637	
NIVEL DE REFERENCIA		
X:	755159.113	Y: 9817320.642
Z:	2929.335	
CERCHA 1		
X:	755160.072	Y: 9817321.239
Z:	2938.194	
CERCHA 2		
X:	755136.353	Y: 9817335.952
Z:	2938.775	

Fuente : Elaboración propia.

En la Etapa 2 se considero el peso de las cerchas principales, cerchas de amarre entre columnas y tomando en consideración los puntos tomando en la ETAPA 1 se muestras a continuación los datos tomados en la ETAPA 2.

Tabla 6
 Coordenadas UTM tomadas para la Etapa 2.



PUNTO BASE			
X:	755145.543	Y: 9817325.285	Z: 2929.423
PRISMA 1			
X:	755153.928	Y: 9817311.730	Z: 2935.195
PUNTO INFERIOR			
X:	755153.784	Y: 9817311.798	Z: 2929.852
PUNTO SUPERIOR			
X:	755153.796	Y: 9817311.739	Z: 2935.666
PRISMA 2			
X:	755130.349	Y: 9817327.162	Z: 2935.159
PUNTO INFERIOR			
X:	755130.459	Y: 9817327.054	Z: 2929.88
PUNTO SUPERIOR			
X:	755130.425	Y: 9817327.041	Z: 2935.661
PRISMA 3			
X:	755142.775	Y: 9817346.125	Z: 2935.177
PUNTO INFERIOR			
X:	755142.826	Y: 9817346.056	Z: 2929.871
PUNTO SUPERIOR			
X:	755142.910	Y: 9817346.116	Z: 2935.656
PRISMA 4			
X:	755166.253	Y: 9817330.594	Z: 2935.187
PUNTO INFERIOR			
X:	755166.154	Y: 9817330.654	Z: 2929.866
PUNTO SUPERIOR			
X:	755166.179	Y: 9817330.716	Z: 2935.637
NIVEL DE REFERENCIA			
X:	755159.113	Y: 9817320.642	Z: 2929.335
CERCHA 1			
X:	755160.075	Y: 9817321.241	Z: 2938.195
CERCHA 2			
X:	755136.352	Y: 9817335.953	Z: 2938.775

Fuente : Elaboración propia.

En la Etapa 3 se consideró el efecto conjunto de las cerchas principales, correas y la cubierta en el cual se realizó el monitoreo estructural antes de colocar la cubierta metálica y a posterior de haber concluido con los trabajos de colocación de la cubierta en Steel Panel en donde se determinaron los siguientes puntos:

Tabla 7
Coordenadas UTM tomadas para la Etapa 3.

ANTES DE COLOCAR LA CUBIERTA			DESPUÉS DE COLOCAR LA CUBIERTA		
PUNTO BASE			PUNTO BASE		
X:	755145.543	Y:	9817325.285	Z:	2929.423
X:	755145.543	Y:	9817325.285	Z:	2929.423
PRISMA 1			PRISMA 1		
X:	755153.926	Y:	9817311.736	Z:	2935.196
X:	755153.923	Y:	9817311.742	Z:	2935.195
PUNTO INFERIOR			PUNTO INFERIOR		
X:	755153.788	Y:	9817311.791	Z:	2929.852
X:	755153.784	Y:	9817311.798	Z:	2929.852
PUNTO SUPERIOR			PUNTO SUPERIOR		
X:	755153.794	Y:	9817311.745	Z:	2935.664
X:	755153.788	Y:	9817311.754	Z:	2935.661
PRISMA 2			PRISMA 2		
X:	755130.352	Y:	9817327.154	Z:	2935.153
X:	755130.350	Y:	9817327.145	Z:	2935.146
PUNTO INFERIOR			PUNTO INFERIOR		
X:	755130.464	Y:	9817327.053	Z:	2929.880
X:	755130.459	Y:	9817327.054	Z:	2929.88
PUNTO SUPERIOR			PUNTO SUPERIOR		
X:	755130.414	Y:	9817327.041	Z:	2935.660
X:	755130.419	Y:	9817327.040	Z:	2935.658
PRISMA 3			PRISMA 3		
X:	755142.777	Y:	9817346.125	Z:	2935.177
X:	755142.776	Y:	9817346.125	Z:	2935.177
PUNTO INFERIOR			PUNTO INFERIOR		
X:	755142.836	Y:	9817346.067	Z:	2929.871
X:	755142.826	Y:	9817346.056	Z:	2929.871
PUNTO SUPERIOR			PUNTO SUPERIOR		
X:	755142.917	Y:	9817346.115	Z:	2935.622
X:	755142.921	Y:	9817346.116	Z:	2935.655
PRISMA 4			PRISMA 4		
X:	755166.246	Y:	9817330.595	Z:	2935.187
X:	755166.243	Y:	9817330.595	Z:	2935.187
PUNTO INFERIOR			PUNTO INFERIOR		
X:	755166.162	Y:	9817330.656	Z:	2929.865
X:	755166.154	Y:	9817330.654	Z:	2929.866
PUNTO SUPERIOR			PUNTO SUPERIOR		
X:	755166.180	Y:	9817330.715	Z:	2935.637
X:	755166.173	Y:	9817330.713	Z:	2935.635
NIVEL DE REFERENCIA			NIVEL DE REFERENCIA		
X:	755159.113	Y:	9817320.642	Z:	2929.335
X:	755159.113	Y:	9817320.642	Z:	2929.335
CERCHA 1			CERCHA 1		
X:	755160.072	Y:	9817321.239	Z:	2938.194
X:	755160.066	Y:	9817321.241	Z:	2938.191
CERCHA 2			CERCHA 2		
X:	755136.353	Y:	9817335.952	Z:	2938.773
X:	755136.352	Y:	9817335.953	Z:	2938.775

Fuente : Elaboración propia.

Posterior a la recolección de datos recolectados mediante coordenadas UTM se realiza el análisis entre cada una de las etapas para determinar los desplazamientos tanto en el eje X, eje Y y eje Z para cada uno de los elementos seleccionados durante el proceso de montaje en las diferentes etapas.

Tabla 8
Desplazamiento generado en cada Etapa en mm.



ETAPA 1			ETAPA 2			ETAPA 3		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
PRISMA 1								
0.00	0.00	0.00	-1.50	6.00	1.00	-3.00	6.00	-1.00
PUNTO INFERIOR								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PUNTO SUPERIOR								
0.00	0.00	0.00	-2.00	6.00	-2.00	-6.00	9.00	-3.00
PRISMA 2								
0.00	0.00	0.00	3.00	-8.00	-6.00	-2.00	-9.00	-7.00
PUNTO INFERIOR								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PUNTO SUPERIOR								
0.00	0.00	0.00	-11.00	0.00	-1.00	5.00	-1.00	-2.00
PRISMA 3								
0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00
PUNTO INFERIOR								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PUNTO SUPERIOR								
0.00	0.00	0.00	7.00	-1.00	-1.00	4.00	1.00	0.00
PRISMA 4								
0.00	0.00	0.00	-7.00	1.00	0.00	-3.00	0.00	0.00
PUNTO INFERIOR								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	1.00
PUNTO SUPERIOR								
0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00	-7.00	-2.00	-2.00
NIVEL DE REFERENCIA								
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CERCHA 1								
0.00	0.00	0.00	-3.00	-2.00	-1.00	-6.00	2.00	-3.00
CERCHA 2								
0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00	-1.00	1.00	-2.00

Fuente : Elaboración propia.

Conclusiones

En el presente artículo se demuestra que el monitoreo estructural mediante la instrumentación topográfica constituye una herramienta fundamental para la evaluación de diferentes estructuras durante el proceso constructivo. El monitoreo al ser ejecutado por etapas críticas



durante la construcción permite identificar de manera temprana desplazamientos críticos o deformaciones estructurales que comprometan a la estructura; para lo cual mediante este mecanismo se controla que la estructura se encuentre dentro de los límites de servicio.

Durante la etapa 1 y etapa 2 del montaje los desplazamientos se mantuvieron bajos debido a que no se consideran cargas significativas y mucho menos durante el proceso constructivo no se presentaron sobrecargas accidentales, problemas de montaje, o acumulación de esfuerzos en los elementos estructurales que comprometan las columnas o cerchas principales.

Por otro lado, en la toma de datos se pudo evidenciar que la carga de los elementos que conforman la cubierta (cerchas principales, correas y cubierta de steel panel) se relacionan directamente con los incrementos en los desplazamientos en el sentido vertical teniendo un desplazamiento de 3 mm en C1 y de 2 mm hacia abajo en C2, los mismo que de acuerdo al cálculo estructural de la cubierta están dentro de los límites permisibles (4.16 mm) de acuerdo a las cargas muertas de los elementos.

Con el monitoreo estructural se identificó que las columnas colocadas mediante métodos tradicionales y visuales muestran una desviación en los ejes XX y YY en la Etapa 2; considerando el punto de partida desde que las columnas se encuentran alineadas unas a otra; presentan pequeñas desviaciones en el eje X y eje Y para lo cual se muestra en el punto P2 una desviación de 11 mm en el sentido x y en el sentido y no existe un desplazamiento. Tomando en consideración este desplazamiento en relación con los demás desplazamientos en los puntos P1, P2, P3, P4 se considera un desplazamiento excesivo el mismo que se evidenció que existió un desplome de la columna durante el proceso constructivo.

Por otro lado, durante la toma de datos en la Etapa 3 en punto P2 posterior a culminar los trabajos de colocación de la cubierta se presentó desplazamiento excesivo en el sentido Z lo cual al estar ya culminado todos los trabajos de montaje se pudo determinar que el desplazamiento no fue causado por la sobrecarga de los elementos sino por manipulación del prisma durante la colocación de la cubierta y la canaleta de agua.

Referencias bibliográficas

Alegre, V., Ródenas, V., & Villalba, S. (2012). *Colapso de la cubierta metálica de un polideportivo; patologías singulares y recurrentes*.
<http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/revista>

Arnal, E., Guitierrez, A., Montemayor, F., & Achabal, F. (2014). *Proyecto y construcción de galpones modulares* (Primera, Vol. 1).

Ecuavisa. (2022). *Techo de iglesia colapsó por las lluvias y granizo*.
<https://www.ecuavisa.com/noticias/ecuador/sur-de-quito-techo-de-iglesia-colapso-por-las-lluvias-y-granizo-EE2431372>

El Comercio. (2022). *Colapso de una estructura en Quito deja tres muertos y cuatro heridos*.
<https://www.elcomercio.com/actualidad/seguridad/muertos-heridos-colapso-estructura-quito.html>



- Fenández Rivero, L. (2007). *observatorio de siniestros LICINIO RIVERO FERNÁNDEZ MAPFRE EMPRESAS*.
- Fingerhuth, S., & Alcaíno, P. (2018). *Sistema de Monitoreo Estructural para la Evaluación del Comportamiento Sísmico de Túneles en Chile*. www.congresosochige.cl
- García, F., & Torres, D. (2022). Real-Time Structural Monitoring for Industrial Facilities. *Structural Health Monitoring Journal*.
- Nguyen, T., Smith, A., & Patel, R. (2017). Failure prevention in large structures through monitoring. *Structural Health Monitoring*, 20.
- Núñez, T., & Boroshek, R. (2010). Monitoreo Continuo de una Estructura en Proceso constructivo. *Congreso Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica. X Jornadas*.
- Quinde Duchitanga, M. O. (2016). *Evaluación comparativa de la parte técnica y económica en una nave industrial aporticada con celosía metálica y perfil IPN*.
- Rao, A. S., Radanovic, M., Liu, Y., Hu, S., Fang, Y., Khoshelham, K., Palaniswami, M., & Ngo, T. (2022). Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications. *Automation in Construction*, 136, 104099. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.104099>
- Suarez Ortiz, C. L. (2019). *MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES DE ALTURA CASO LATINOAMERICA*. Universidad Industrial de Santander.
- Sun, M., Staszewski, W. J., & Swamy, R. N. (2010). Smart sensing technologies for structural health monitoring of civil engineering structures. In *Advances in Civil Engineering* (Vol. 2010). <https://doi.org/10.1155/2010/724962>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

Yo, Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en esta etapa de mi vida. De manera especial agradezco a Dios, a mis padres, hermanos, y amigos que me brindaron su apoyo incondicional y palabras de aliento durante mi formación, motivándome a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles, para así seguir superándome día a día y lograr mis metas planteadas.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.