



# **FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

## **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Mejoramiento estructural de nave industrial con la  
implementación de cobertura autoportante y vigas IPE, Puente  
Piedra 2020**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Alegre Elera, Arnulfo (ORCID: 0000-0001-9674-6242)

**ASESOR:**

Mgr. Fernández Díaz, Carlos Mario (ORCID: 0000-0001-6774-8839)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño sísmico y estructural

LIMA - PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A Dios, por permitirme la existencia y por la fuerza para seguir adelante. A mi esposa Yuli e hijos Diego y Jana, que son el motivo y la razón de seguir superándome y a mis padres Arnulfo y Carmen que están en el cielo, a ellos dedico esta investigación por sus enseñanzas y buenos consejos, que hasta ahora atesoro.

## **Agradecimiento**

A mi Padre Arnulfo “El Poeta”, quien fue mi amigo, maestro y guía, y fue muchas veces el motivador en mi vida; a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil por su enseñanza y formación académica y en particular al Ing. Mgtr. Carlos Mario Fernández Díaz por su apoyo durante el trabajo de investigación.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA .....	11
3.1 Tipo y diseño de Investigación.....	11
3.2 Variables y Operacionalización.....	12
3.3 Población, muestra y muestreo .....	13
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.5 Procedimientos .....	16
3.6 Método de análisis de datos .....	16
3.7 Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN.....	28
VI. CONCLUSIONES .....	32
VII. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS.....	43

## Índice de tablas

Tabla 1: Propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado.....	7
Tabla 2: Cantidad de muestras por ensayo.....	14
Tabla 3. Validez de juicio de experto.....	15
Tabla 4. Interpretación de coeficiente de confiabilidad.....	15
Tabla 5. Resultado del ensayo de tracción del acero galvanizado prepintado..	17
Tabla 6. Ensayo de tracción de vigas IPE 140.....	18
Tabla 7. Momento flector promedio obtenido en vigas IPE140.....	19
Tabla 8. Propiedades mecánicas de las vigas IPE 200.....	21
Tabla 9. Momento flector versus rotación.....	22

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Perfil trapezoidal.....	9
<i>Figura 2.</i> Viga reforzada longitudinalmente.....	10
<i>Figura 3.</i> Disposición de refuerzo en la viga IPE.....	20
<i>Figura 4.</i> Máquina de ensayo de flexión.....	21
<i>Figura 5.</i> Modelo de conexión de viga SP1.....	23
<i>Figura 6.</i> Modelo de conexión de viga SP2.....	23
<i>Figura 7.</i> Modelo de conexión de viga SP3.....	24
<i>Figura 8.</i> Modelo de conexión de viga SP4.....	24
<i>Figura 9.</i> Modelo de conexión de viga SP5.....	25
<i>Figura 10.</i> Modelo de conexión de viga SP6.....	25
<i>Figura 11.</i> Modelo de conexión de viga SP7.....	26
<i>Figura 12.</i> Modelo de conexión de viga SP8.....	26
<i>Figura 13.</i> Diagrama experimental de 8 modelos de conexiones viga-columna....	27

## RESUMEN

La presente tesis desarrollada cuyo objetivo es mejorar la estructura de la nave industrial con la implementación de cobertura autoportante y vigas IPE, esta investigación es de tipo tecnológica, cuyo enfoque es de carácter cuantitativo, nivel experimental. La investigación concluye que la implementación de los elementos estructurales, como el uso del acero galvanizado prepintado empleado en la cobertura autoportante es el más adecuado de acuerdo al resultado del ensayo de tracción, la implementación de la viga IPE 140 reforzada longitudinalmente resultó muy favorable de acuerdo al resultado del ensayo de flexión y la selección del tipo de conexión rígida en la viga-columna, resultó el más conveniente de acuerdo al resultado del ensayo de flexión, todas estas mejoras realizadas en los elementos estructurales, permiten mejorar la estructura de la nave industrial. Se recomienda continuar la investigación con otros tipos de coberturas para techos de naves industriales. Se propone realizar el ensayo de dureza, para obtener más datos de las propiedades mecánicas de la cobertura. Se plantea investigar el empleo de vigas I con otras secciones y dimensiones. Se exhorta a los laboratorios que existen en nuestro medio, realizar ensayos de flexión de vigas de diferentes secciones y tipo de conexiones viga-columna.

Palabras clave: Mejoramiento estructural, cobertura autoportante, acero galvanizado prepintado, ensayo de tracción.

## ABSTRACT

The present thesis developed whose objective is to improve the structure of the industrial warehouse with the implementation of self-supporting roof and IPE beams, this research is of a technological nature, whose focus is quantitative, experimental level. The research concludes that the implementation of the structural elements, such as the use of prepainted galvanized steel used in the self-supporting roof is the most appropriate according to the result of the tensile test, the implementation of the longitudinally reinforced IPE 140 beam was very favorable according to According to the result of the bending test and the selection of the type of rigid connection in the beam-column, the result of the bending test and the selection of the type of rigid connection in the beam-column was the most convenient, according to the result of the bending test, all these improvements made in the structural elements allow to improve the structure of the industrial warehouse . It is recommended to continue the investigation with other types of coverings for roofs of industrial buildings. It is proposed to carry out the hardness test, to obtain more data on the mechanical properties of the covering. It is proposed to investigate the use of I-beams with other sections and dimensions. Laboratories that exist in our environment are encouraged to carry out bending tests of beams of different sections and types of beam-column connections.

Keywords: Structural improvement, self-supporting roof, prepainted galvanized steel, tensile test.



## I. INTRODUCCIÓN

El techo es uno de los factores más importantes en cualquier industria. En Estados Unidos, los techos de metal despegaron principalmente en el siglo XIX. La plancha de hierro fue fabricada en Estados Unidos por Robert Morris, el método para corrugar hierro fue patentado en 1829 en Inglaterra. Esto hizo que las láminas de metal fueran más rígidas y permitió un mayor espacio sobre un marco más ligero y redujo el trabajo manual de montaje. En 1837, los constructores franceses desarrollaron la idea de galvanizar el metal base con zinc para proteger contra la oxidación. A principios de 1900, las planchas metálicas estampadas hechas para una mejor resistencia, y los grandes paneles de acero para techos fueron particularmente útiles para edificios industriales y almacenes (Island Metals, 2020). Las tendencias, investigaciones y desarrollos recientes se dirigen hacia el desarrollo de un material ligero, económico y estructuralmente resistente que puede ser prefabricado y fácilmente erigido. Convencionalmente, el perfil de plancha de acero como zincalume y plancha de acero galvanizado, son utilizados en el techo como materiales de cubierta utilizando diferentes tipos de soporte interno sin afectar su capacidad estructural. “Una cubierta curvada autoportante es una solución constructiva en la que no existe estructura portante. Es la propia chapa metálica curvada la que soporta las cargas y las transmite a los apoyos sin necesidad de estructura intermedia” (Abad, 2016 p.5). Las tendencias e investigaciones y desarrollos recientes se dirigen hacia el desarrollo de un material ligero, económico y estructuralmente resistente que puede ser prefabricado y fácilmente erigido. Convencionalmente, el perfil de plancha de acero como zincalume y plancha de acero galvanizado, son utilizados en el techo como materiales de cubierta utilizando diferentes tipos de soporte interno sin afectar su capacidad estructural. En la zona industrial de la Av. Argentina, distrito del Callao, el cual es motivo del proyecto de investigación, existen industrias de grandes envergaduras ubicadas en las zonas manufactureras, que oscilan de los 30 a 60 metros e inclusive de menor envergadura, al inspeccionar alrededor del lugar, menos del 50 % no cuentan con protección a la intemperie y no existe un uso óptimo de las áreas libres, se propone el diseño de una nave industrial, siendo útil esta para perfeccionar el recinto laboral, aumentar la productividad, la ergonomía del puesto de trabajo y todo esto para el beneficio de los trabajadores (Vargas,2017, p.2).

En el distrito de Puente Piedra, se evidencia deficiencia en masificación de los techos industriales, ya en la mayoría de casos no tiene protección frente a la variación del clima, existen espacios libres que no son aprovechados adecuadamente, por lo cual se debe implementar esta tecnología, que no es muy costosa y no demanden mucho tiempo el diseño y construcción, para disminuir el problema de salud ocupacional de los obreros, ya que al no contar con un techo están expuestos a la intemperie, variando el clima con las estaciones del año; siendo muy útil para mejorar el puesto de trabajo, el rendimiento del trabajador, dotando así de un mejor ambiente de trabajo, protección ante el clima y mejorar las operaciones en la producción, además contribuye a no contaminar el aire y evitar así la proliferación de enfermedades respiratorias en la población de dicho distrito por la emisión gases y polvo producto de la actividad manufacturera, y teniendo como ventaja adicional la contribución al aspecto económico. Por lo que es necesario formular las siguientes interrogantes:

Problema General: Cómo influye la implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE en la parte estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?

Problemas específicos: ¿De qué manera las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante incide en la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?; ¿ De qué manera incide el uso de vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal, en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?; ¿ De qué manera el tipo de conexión viga IPE-columna incidirá en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?; se consideraron varios aspectos para fundamentar la justificación de la investigación, tales como: La investigación permitirá dar a conocer como se mejora la estructura de una nave industrial para luces hasta 20 m., con la implementación de la cobertura autoportante, seleccionando el tipo de material, el tipo de perfil, el refuerzo en la viga IPE, el tipo de conexión entre la viga y columna; esta investigación va permitir dar a conocer a la industria nacional, para que puedan implementarlo en sus empresas como una alternativa práctica y tecnológica. La justificación teórica, plantea mostrar las bondades de la implementación de la cobertura autoportante en las naves industriales y las vigas IPE; esto implica en la mejora de los parámetros de diseño, que se aplican en el diseño de la nave industrial, el cual traería ventajas

estructurales y por el uso del tipo de material conlleva a la extensión de la vida útil. Como justificación práctica, se pretende incentivar a las empresas la implementación de la cobertura autoportante en la construcción de las naves industriales; como justificación económica, mostrando las ventajas en bajo costo, ahorro de materiales, menor tiempo de ejecución, durabilidad, bajo mantenimiento. Como justificación metodológica, lograr el cumplimiento de los objetivos de estudio, se elaborarán instrumentos de medición para las variables. Estos instrumentos son: fichas de control de calidad del material, ensayos de resistencia de materiales y fichas de control de calidad del perfil de la cobertura. Como justificación social se pretende mejorar el ambiente laboral y los puestos de trabajo, mediante la implementación del techo autoportante, lo cual mejorará el rendimiento operacional y la productividad en beneficio de la empresa y la comunidad. Como justificación ambiental la construcción del techo autoportante, reducirá la emisión de partículas de polvo en la zona, evitando así la contaminación ambiental de los alrededores y la disminución de enfermedades respiratorias y/o alérgicas en la población.

Objetivo general: Mejorar estructuralmente la nave industrial con la implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE, Puente Piedra ,2020. Objetivos específicos: Establecer las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante en la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020. Comparar las vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal y sin refuerzo, en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020. Establecer el tipo de conexión viga IPE-columna, para la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020. Por tanto se formularon las siguientes hipótesis: Hipótesis general: La implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE permitirá el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020. Tenemos las siguientes hipótesis específicas: Las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020. El uso de vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal, mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020. El tipo de conexión viga IPE-columna mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.

## I. MARCO TEÓRICO

Para Casariego, Casafont, Ferrer y Marimon (2019) En su artículo *Analytical study of flat and curved trapezoidal cold formed steel sheets by means of the yield line theory. Part 1: Flat sheets without transverse corrugations*. Cuyo objetivo fue determinar la resistencia a la compresión y flexión de los perfiles trapezoidales conformado en frío utilizado en las coberturas autoportantes. Esta investigación es de enfoque cuantitativo, nivel tecnológico y diseño de investigación experimental. En este artículo se presenta un estudio de cubiertas arqueadas autoportantes realizadas con chapa trapezoidal de acero conformado en frío. Para llevar a cabo el experimento se montó una estructura con rodillos por donde se desliza la plancha trapezoidal y en la parte superior se montó unas vigas unidas a brazos hidráulicos para ejercer una presión uniforme constante en sentido transversal a los nervios, hasta que falle la sección trapezoidal. Se evaluó tres tramos de 1000 mm de longitud de cobertura de perfil trapezoidal de acero H55 de espesor de 0,80 mm; donde se obtuvo un momento experimental final promedio de 782.66 N.m, y un esfuerzo de fluencia experimental promedio de 338 Mpa.

Para Bogatinoski, Trajanoska y Arsova-Milosevska (2014) En su artículo *Design of Steel Beam-Column Connections*. Cuyo objetivo fue determinar la conexión más óptima para estructuras de naves industriales. En este artículo se presenta una investigación teórica y experimental de las conexiones viga-columna de acero. Se investigaron ocho tipos de probetas, compuestas por uniones rígidas y semirrígidas. Esta investigación es de enfoque cuantitativo, nivel tecnológico y diseño de investigación experimental. Se utilizó un modelo SP1, es una modificación de la conexión rígida viga-columna estándar y más comúnmente utilizada con placa de extremo soldada con soldaduras de filete en el extremo de la viga. La modificación utilizada consiste en almas triangulares adicionales en el extremo de la viga que se sueldan a su nivel superior e inferior con la placa de extremo, de modo que se mejora la rigidez en el extremo de la viga, comparada con los otros siete modelos conexión flexible y semirrígida. Del análisis experimental comparativo de los 8 modelos investigados se puede concluir que la capacidad de carga del momento flector de los modelos con conexión rígida de flexión en voladizo es mayor, dando como resultado que el modelo rígido tiene mayor capacidad de carga 9,5 KN-m.

Para Prado, Carrillo, Ospina y Ramírez-Amaya (2018), en su artículo *Experimental assessment of I-shaped steel beams with longitudinal stiffeners under lateral-torsional buckling*. Este estudio se centró en la evaluación experimental del comportamiento de vigas de acero en I con refuerzos longitudinales bajo la acción de pandeo lateral-torsional, se empleó treinta y tres vigas de acero IPE-140 de 140 mm de altura con y sin refuerzos longitudinales se probaron en condiciones de soporte simple con una longitud lateral no arriostrada que varía en tramos de 0,69 a 6,0 m, el espaciamiento de los refuerzos fue de 0,42 m, lo que representó tres veces la profundidad de la sección. Esta investigación es de enfoque cuantitativo, nivel tecnológico y diseño de investigación experimental. El comportamiento estructural de las vigas I se discute en términos de su capacidad de flexión, el desplazamiento lateral del ala de compresión y el ángulo de torsión de falla. Concluyó en que las vigas reforzadas tienen mayor capacidad de momento flector en una longitud lateral de 6 m, arrojó un valor de 13,6 KN-m, comparados con la viga sin refuerzo que arrojó el valor de 7,5 KN-m, esto mejoró en un 82%, con esta implementación permitirá un aligeramiento estructural y economía en la selección de las vigas I.

Mendoza, L. (2017) en su tesis *Análisis comparativo entre coberturas reticuladas convencionales y autoportantes, caso aplicativo: Centro de Convenciones de la Universidad Nacional del Altiplano- Puno*. Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú. Cuyo objetivo fue evaluar y comparar el comportamiento estructural y los costos de los sistemas con cobertura convencional y autoportante del centro de Convenciones de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. La metodología de investigación es de tipo aplicada y de enfoque cuantitativo; ya que estudió las características, propiedades y comportamiento de las estructuras autoportantes. Realizó el análisis y diseño estructural de la cobertura del mencionado proyecto, considerando los dos sistemas estructurales de armadura y autoportante, para el análisis sísmico de las coberturas aplicó la norma E.030 (diseño sismo resistente) para ambos sistemas, así como el diseño estructural se regirá por la norma E.090 (estructuras metálicas). Concluyó que dentro del comportamiento estructural, los esfuerzos en los

elementos estructurales de cada sistema, se distribuyen mejor en el sistema autoportante.

Laos, E. (2018) En su tesis Propuesta alternativa de Cubierta Autoportante, en la optimización de Costo-Tiempo, para la construcción de almacenes, Lima-Perú. Para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo, Lima- Perú. Cuyo objetivo fue plantear el uso alternativo de cubiertas autoportantes, para la optimización de tiempo y costos en la construcción de almacenes en Lima-Perú. La metodología empleada es de tipo aplicada y enfoque cuantitativo. Como resultado se encontró, que las características técnicas y las propiedades de materiales del sistema autoportante, es más funcional y tiene un mejor comportamiento que un sistema convencional, esto ayuda a disminuir el peso de los elementos estructurales, esto permite contrarrestar las cargas dinámicas que producen el entorno como el viento, nieve y lluvias. Empleó el acero INCO 70.4 que tiene las siguientes propiedades mecánicas, límite elástico 250 Mpa, y esfuerzo de rotura de 330 Mpa, con un perfil tipo trapezoidal de ancho efectivo 610 mm y peralte 203 mm, que permite usarse en cobertura hasta luces de 35 m., siendo esta una alternativa para ambientes amplios.

Lozano, C. (2019), en su Tesis Diseño estructural de acero del techo parabólico para el coliseo polideportivo Acudesi-Trujillo, Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Nacional de Trujillo– Trujillo. Cuyo objetivo fue diseñar la estructura de acero del techo parabólico para la losa deportiva del club Acudesi de Santa Inés-Trujillo. La metodología de investigación es aplicada y enfoque cuantitativo. Concluyendo el cálculo de las cargas muertas y vivas se realizó de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones así mismo las combinaciones de cargas, por lo cual la estructura fue diseñada soportando cargas críticas. La cubierta seleccionada es plancha TR 4 curvo de acero Zinalum en calidad estructural GR 37, de 0,50 mm, de espesor y un esfuerzo de fluencia de 235,35 Mpa, esta plancha permite cubrir grandes luces y ahorro en traslapes, además de ser fácil y rápido de instalar.

La plancha de acero galvanizada por inmersión en caliente en calidad estructural, es un material que tiene las características de resistencia mecánica del acero (ver Tabla 1) y la resistencia a la corrosión generada por el zinc, norma técnica ASTM A653 (Ficha técnica Acesco, 2020, p.2).

**Tabla 1.** *Propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado*

Propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado				
Calidad	Grado	Fluencia YP	Resistencia	Elongación
		Mínima	Máxima	Mínima
		Mpa	Mpa	%
Estructural	33	230	310	20
	SS	37	255	360
	40	275	380	16
	50	340	450	12

Fuente: ficha técnica de Acesco.

Técnica de construcción: La técnica de construcción de los techos metálicos autoportantes, es una solución económica para techos porque no se necesitan vigas longitudinales ni correas, ya que los arcos son apoyados directamente en las vigas principales (Casariego, Casafont, Ferrer y Marimon, 2019, p. 675). Esfuerzo admisible: Viene a ser cuando un elemento estructural se diseña de modo que su carga final sea considerablemente mayor que la carga que deberá cargar el elemento o componente en condiciones normales (Beer y Russel, 2010, p.22). El techo industrial, viene a ser la instalación diseñada y construida para realizar actividades de manufactura, transformación, ensamble, procesos industriales, almacenaje, mantenimiento y distribución (San, Chen y Qiu, 2019, p.1). Las cubiertas metálicas de arco cumplen una doble función basada en el principio de que el elemento de cubierta debe funcionar también como elemento resistente: por un lado, actúan como viga en forma de arco y, por otro lado, como envolvente de la nave industrial (Del Coz, García, Vilan, Alvarez, Navarro y Alonso, 2013, p.1). Concepto de nave industrial, para Collachagua, W.( 2017, p.19) el concepto de nave industrial en cualquiera de sus acepciones empieza por la construcción propia diseñada y construida para realizar actividades industriales de producción,

transformación, manufactura, ensamble, procesos industriales, almacenaje y distribución. La nave industrial es un área destinada para la manufactura de productos y que sirve para albergar máquinas, equipos y trabajadores. Techo autoportante: Estas estructuras ligeras son muy populares debido a sus propiedades, como alta resistencia, alta rigidez a la relación peso, vida prolongada ante la fatiga, y que tienen una aplicación industrial (Sengupta, Ghosh y Chakravorty, 2015, p. 12). Techos parabólicos (cilíndricos): Los techos cilíndricos están sujetos a cargas complejas producidas por su peso propio, nieve y viento. Los estándares de carga se utilizan para fines de ingeniería. Un conjunto relevante de combinaciones de carga provoca la formación de un complejo de fuerzas internas, donde se producen fuerzas de compresión y diferentes momentos de flexión simultáneamente (Piekarczuk, 2017, p. 797). Diseño Estructural: tiene como uno de sus objetivos proveer elementos dúctiles, con el fin de desarrollar una buena capacidad de disipación de energía (Prieto-Serrano, 2015, p.3). Los perfiles metálicos, tienen muchas ventajas, de entre las que destacan: alta relación resistencia-peso es muy fácilmente reparable-soldable; se puede reciclar y reutilizar y también que son estructuras prefabricadas, por lo que llegan a la obra y su montaje es muy rápido (Muñoz, J., 2020, p.1). Los perfiles de pared delgada se producen en dos etapas, proceso de laminado en frío de chapa de acero mediante laminadores móviles. La primera etapa del proceso de fabricación implica formar un perfil lineal recto en forma de trapezoidal de acero de 0,75–1,5 mm de espesor de plancha, con formas y dimensiones (Piekarczuk, 2017, p. 791). Perfil estructural: es un elemento delgado de plancha con una estructura típica, que proviene de una laminación en frío, y está adopta formas complejas (Kyvelou, Kyprianou, Gardner y Nethercot, 2019, p. 526). El perfil trapezoidal típico se basa en los parámetros L1, L2 y L3 y el ángulo  $\theta$  (ver figura 1), se eligen para ser las variables de optimización (Mezzomo, Iturrioz, Grigoletti y Gómez, 2014, p.2).



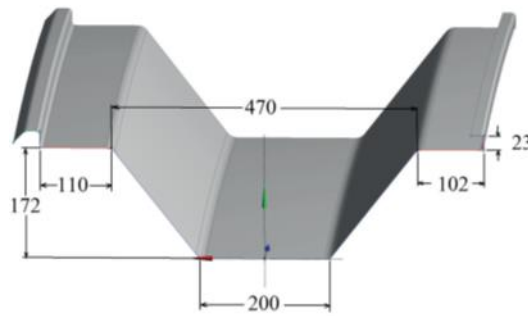


Figura 1. Perfil Trapezoidal.

Radio de curvatura: Se determina primero al considerar seleccionado ángulo de inclinación del arco circular para el techo ( $\theta$ ), luego de acuerdo con las coordenadas de los puntos ubicados en el arco circular, las coordenadas de los puntos, en relación con el origen de coordenadas se determina de acuerdo con la ecuación (Kaveh, Seyed Rohollah, Hosseini y Mohsen Bakhtiyari, 2019, p. 2).  $R = (r/2) \cos(90 - \theta)$ , donde R radio de curvatura,  $\theta$  ángulo del arco circular, r longitud de arco. Medios de unión: Los medios de unión son los constituidos por tornillos, tuercas y arandelas, para uniones atornilladas, y el material de aportación para uniones soldadas (Urban, 2015, p.20). Carga viene a ser el peso de la cubierta autoportante y comprende, estructura, ocupantes y las maquinarias, los efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos (Norma E.20 del RNE). La carga muerta constituye en este tipo de estructuras generalmente el revestimiento y su peso propio (Ceribasi, 2020, p.7). Carga Viva: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación” (Norma E.20 del RNE). Para cubiertas cilíndricas = 0,50 Kpa. En el diseño de las conexiones, es importante controlar el peso, la rigidez, la resistencia y la ductilidad del material de los elementos (Bogatinoski, Trajanoska y Arsova-Milosevska, 2014, p.10 ). La viga es un elemento estructural de acero que cubre luces amplias y sirve de soporte al techo industrial (ver figura 2), para este caso este viga esta reforzada longitudinalmente por tramos con placas planas, que están en función del ancho del ala del perfil (Prado, Carrillo, Ospina y Ramírez-Amaya, 2018, p. 279).

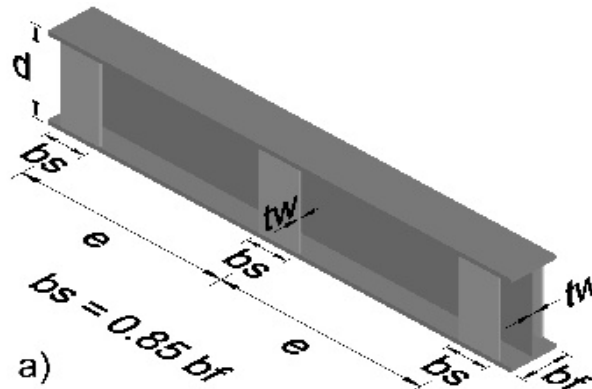


Figura 2. Viga reforzada longitudinalmente.

Vigas IPE, es la viga que presenta el mejor comportamiento mecánico, la que soporta más carga y la de menor deformación (Roca, 2005, p.10). La Columna, es un elemento largo y delgado que se somete a una fuerza de compresión axial y al deflexión lateral que se produce se llama pandeo (Hibbeler, 2015, p.657). Las Correas son elementos estructurales, que se utilizan para darle rigidez al techo, normalmente adopta la forma de Z galvanizadas (Loureiro y Calvo, 2016, p.2). Velocidad de diseño: “La velocidad de diseño del viento hasta 10 m. de altura será la velocidad máxima adecuada a la zona de ubicación de la edificación pero no menos de 75 Km/h. La velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión” (Norma E.020 del RNE). Se utilizará la siguiente fórmula  $V_h = V (h/10)^{0.22}$ , Donde  $V_h$  la velocidad de diseño en la altura  $h$  en Km/h,  $V$  la velocidad de diseño hasta 10 m. de altura en Km/h,  $h$  la altura sobre el terreno en metros. Carga exterior de viento: La nave sujeta a la carga del viento, tiene principalmente dos componentes, es decir, fuerza de arrastre y fuerza de elevación y ambos pueden ser presiones de viento positivas o negativas (Singh y Kumar, 2019, p. 2). Coeficiente C: En general, la succión y la presión aumenta para mayor curvatura de la superficie, con patrones geométricos similares en las distribuciones medias de C, siempre que el flujo permanece adjunto (Colliers, Degroote, Mollaert y De Laet, 2020, p.2). Factores de la carga de viento: Los factores son los siguientes, la velocidad del viento, la pendiente del techo, la altura del alero, la categoría de exposición y la pared abierta (Saleem y Qureshi, 2018, p. 6). Las cargas sísmicas que actúan sobre las estructuras son directamente proporcionales al peso de la estructura de hecho, cuanto más peso, más cargas

del terremoto actuando sobre la estructura (Korkmaz y Uzer, 2018, p.1). El Diseño sísmico resistente en las construcciones de acero livianas está relacionado con el comportamiento estructural de los sistemas sísmico resistente, es decir la respuesta histórica de paredes y pisos bajo cargas cíclicas en el plano (Raffaele, 2018, p.34); El Factor de zona (Z), es la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad superior al 10% de ser excedida en 50 años, expresada a modo de porcentaje de g (Norma E.030 del RNE). Para el diseño estructural se basó en la norma E.090 del RNE, en donde se sigue la metodología LRFD Y ASD.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y nivel de Investigación:**

El tipo de investigación es tecnológico, ya que tiene como objetivo la solución de problemas prácticos, o dar alcances de nuevos métodos que se pueden aplicar en la mejora de la industria con la aplicación de nuevas técnicas (Borja, 2012, p.11). El nivel de investigación es descriptivo, ya que se investiga y se establecen las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio como estructuras, especímenes o cualquier fenómeno que se quiera estudiar (Borja, 2012, p.13).

El enfoque utilizado en el presente estudio es de carácter cuantitativo, puesto que se orienta a la definición de las propiedades de la cobertura autoportante, que son medibles y se pueden probar mediante los ensayos de resistencia de materiales según la norma para ensayo de pruebas de materiales metálicos ASTM A 370 y ASTM A 131. Valderrama (2015, p. 117) indica que la investigación de enfoque cuantitativo es aquella que recopila los datos, los procesa y los analiza, siendo estos datos numéricos para la apreciación de los resultados.

#### **Diseño de la investigación**

El diseño de investigación se puede definir como “plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación”. (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 128). Para nuestro caso el diseño es experimental, ya que se someterá a estímulos los objetos de estudio para posteriormente definir el nivel en que influye la variable independiente, la cobertura autoportante y las vigas IPE. Asimismo Borja (2012) señala que el diseño

experimental tiene un esquema lógico donde se demuestra la hipótesis, donde las variables que se manipulan son las independientes (X) y la variable dependientes (Y) es el efecto (p.26).

### **3.2 Variables y operacionalización**

Variable Dependiente (Y) – Nave industrial.

Borja (2012, p.23) Específica a esta variable como el efecto producido por la variable independiente. En el presente caso el mejoramiento estructural de la nave industrial es el efecto que se pretende obtener al implementar la cobertura autoportante y las vigas IPE.

Nave industrial se puede definir como la instalación física o edificación diseñada y construida para realizar actividades industriales de producción, transformación, manufactura, ensamble, procesos industriales, almacenaje y distribución (Cabello, 2016, p.21).

Para Cahuana (2018, p.200) Nave Industrial, viene a ser una edificación de uso industrial compuesto por estructuras metálicas y/o de concreto, que albergan la producción y/o bienes industriales, los obreros, las máquinas que los generan, el transporte interno, la salida y entrada de mercancías.

Dimensiones: El diseño estructural, tiene como indicadores el método LFRD y el método ASD.

Variable Independiente (X) – Cobertura autoportante.

Borja (2012, p.23), lo define como la variable que produce un efecto en la variable dependiente. Se determinó la cobertura autoportante como variable independiente en el presente estudio ya que mediante la implementación se pretende optimizar los parámetros de diseño de la nave industrial.

Abad (2016, p.5) Señala que, El sistema de techo autoportante es un sistema innovador mediante la eliminación de soporte interno, donde los techos de láminas continuas corren tramos de un extremo a otro. Las tendencias, investigaciones y desarrollos recientes se dirigen hacia el desarrollo de un material ligero, económico y estructuralmente resistente que puede ser prefabricado y fácil de levantar.

Definición operacional: El mejoramiento estructural de la cobertura autoportante, se emplea un acero galvanizado prepintado y se embute un perfil trapezoidal, las propiedades mecánicas del acero prepintado se determinará mediante el ensayo de tracción.

Dimensiones: propiedades físicas del acero galvanizado prepintado, tienen indicadores como recubrimiento, espesor y ancho. Propiedades físicas del perfil trapezoidal, tienen como indicadores, el ángulo, ancho efectivo y el peralte. Propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado, son el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y la elongación.

Variable Independiente (X) – Vigas IPE

La viga es un elemento estructural de acero que cubre luces amplias y sirve de soporte al techo industrial (Prado, Carrillo, Ospina y Ramírez-Amaya, 2018, p. 279). Vigas IPE, es la viga que presenta el mejor comportamiento mecánico, la que soporta más carga y la de menor deformación (Roca, 2005, p.10)

Dimensiones: Vigas IPE 140, tiene como indicadores máximo momento flector, esfuerzo de fluencia y distancia de refuerzo. La conexión viga columna, tiene las siguientes dimensiones, esfuerzo de fluencia, rotación y máximo momento flector.

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

Población: El tamaño de la población está compuesto por todas las empresas medianas y grandes dedicadas al rubro de la industria ubicadas en el distrito de Puente Piedra, que concentra alrededor del 11% de industrias manufactureras de Lima, correspondiendo este a la cuarta parte de todo Lima. (Censo del INEI del año 2018, p.160). Borja (2012, p.30), Señala “Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio”. Muestra, se opta por muestra no aleatoria, no probabilística a decisión del investigador. Hernández et al. (2014), indica que la muestra es un subconjunto representativo de un universo o población. Es representativo, porque refleja finalmente las características de la población (p.170).

Muestreo, Valderrama (2015, p.193) señala que el muestreo no probabilístico es aquel donde la influencia del investigador es evidente ya que determina las muestras a criterio propio y conveniencia. El muestreo que se tomara atiende a

necesidades de realizar los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la cobertura autoportante y los elementos estructurales, que conforman la nave industrial (ver tabla 2).

**Tabla 2.** *Cantidad de muestras por ensayo*

Ensayo	Norma	Cantidad de Probetas
Ensayo de Tracción	ASTM A 370 y A131	3
Ensayo de Tracción de vigas IPE 140	ASTM E8/E8M	4
Ensayo de flexión de Vigas IPE 140	ASTM A6 y A6M	33
Ensayo de Tracción de vigas IPE 200	DIN 10025 y 59411	2
Ensayo de flexión de vigas IPE 200	ASTM A6 y A6M	10
TOTAL		52

Fuente: elaboración propia.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para Luna, Yengle, Duran, Lujan, Santa Cruz y Aldave (2017), señala que “las técnicas de recolección de datos, viene a ser el conjunto de instrucciones dadas para el uso correcto de los instrumentos”(p.56). Por otro lado Luna et al. (2017) señala los Instrumentos proporcionan información relevante para su procesamiento, y está relacionada íntimamente con las dimensiones y sus indicadores que van a permitir la medición de la variable de estudio (p.56). Al respecto, Luna et al. (2017) señala que los Instrumentos objetivos, se da cuando el instrumento cuenta con pautas precisas para su calificación y puede ser suministrada por un asistente (p.57). Los instrumentos utilizados en la investigación han sido fichas de trabajo y ensayos de laboratorio, las cuales se muestran en los anexos. La Técnica de recolección de datos empleada es combinada, se ha empleado la observación y documental. Observación, esta se define como la apreciación de un hecho o fenómenos. Todos los formatos se deben plasmar en formatos adecuados de recolección de información Según (Borja, 2011, p.33).

## Validez

Validez: La validez se refiere si el instrumento funciona para mensurar lo que realmente se quiere saber (Soto, 2015, p.71).

## Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad se refiere a la credibilidad que otorga el instrumento, y esto se verifica si al aplicar repetidas veces dicho instrumento, da como resultado los mismo valores o valores muy próximos(Soto, 2015, p.72).

**Tabla 3:** Validez de juicio de experto

INTERPRETACION DE UN COEFICIENTE DE CONFIABILIDAD				
MUY BAJO	BAJO	REGULAR	ACEPTABLE	ELEVADA
0 - 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.8	0.8 - 1.0

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2014, p.208).

Se realizó el juicio de expertos con tres especialistas: tres Ingenieros Civiles, la validación de contenido por parte de expertos fue favorable.

**Tabla 4.** Interpretación de coeficiente de confiabilidad

			Validador 1	Validador 2	Validador 3
I.-PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO GALVANIZADO PRE PINTADO					
Recubrimiento	Espesor	Ancho	1	1	1
II.- PROPIEDADES FÍSICAS DEL PERFIL TRAPEZOIDAL					
Ángulo	Ancho efectivo	Peralte	1	0	1
III.- PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO GALVANIZADO PRE PINTADO					
Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo máximo	Elongación	1	1	1
IV.-DISEÑO ESTRUCTURAL DE COBERTURA AUTOPORTANTE					
Fuerza de compresión	Máximo momento	Esfuerzo de fluencia	1	1	1
V.- VIGAS IPE 140 CON REFUERZO					
M max.	Esf. de Fluencia	Distancia	1	1	1
VI.-CONEXIÓN VIGA-COLUMNA					
Esfuerzo de fluencia	Rotación	M max. Flector	1	1	1
			1	0,83	1
PROMEDIO FINAL			0,94		

Fuente: elaboración propia.

### **3.5 Procedimientos**

Para recolectar los datos se utilizó los siguientes instrumentos:

Control de calidad del perfil trapezoidal, verificando los parámetros: ángulo de inclinación, ancho efectivo y peralte.

Control de calidad de la probeta, verificando los parámetros: espesor, ancho, longitud inicial y longitud final.

Ficha de recolección de datos, se verifica los parámetros: longitud, sección, fuerza y variación de longitud.

El ensayo de tracción, nos va proporcionar las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado, como: el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y la elongación.

También se usó instrumentos documentales, que respaldan la investigación que se está realizando, que evalúan el diseño estructural de la nave industrial, estos son: refuerzos longitudinales en vigas IPE y el tipo de conexión viga IPE–columna.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Según Valderrama (2015, p.229) una vez obtenida la información, el siguiente paso es desglosarlos para responder a la pregunta principal y, si es importante, reconocer o descartar la teoría bajo investigación. En la presente investigación se utilizarán los formatos de recolección de datos basados en la norma ASTM, de acuerdo a las variables y objetivos planteados, el cual permitirá el registro de los acontecimientos de cada ensayo para las conclusiones y recomendaciones posteriores. El trabajo de gabinete se realizará registrando los ensayos en tablas de Excel.

### **3.7. Aspectos éticos**

Atribuirse o adjudicarse ideas, planos, proyectos, gráficos o documentos técnicos de los que no es autor, es una falta contra la ética (Art.44°- del Código de Ética del Colegio de Ingenieros, 2018 p.16). La ética es parte de nuestra formación profesional como futuros ingenieros e inherente a nuestro desempeño. En esta investigación se pondrá en praxis el respeto a los autores, nos comprometemos en



ser transparentes al colocar todo tipo de fuentes, sin omitir al autor y dar los créditos en la cual colocaremos a través de referencias.

## IV. RESULTADOS

Los resultados del proyecto de investigación fueron desarrollados en el Laboratorio de Mecánica N° 4, Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, bajo los siguientes parámetros de humedad relativa 70% y temperatura 20°C, se utilizó los siguientes equipos: Máquina universal de ensayos mecánicos, marca Amsler, capacidad 5 ton, un vernier digital, marca Mitutoyo, aproximación 0,001 mm, un micrómetro digital, marca Mitutoyo, aproximación 0,001 mm, y un medidor de espesores de recubrimiento, marca Fischer, aproximación 1 µm.

### 4.1 Ensayos de Laboratorio

#### 4.1.1 Ensayo de tracción

Para realizar el ensayo de tracción del acero galvanizado prepintado, se utilizó tres probetas de 1mm de espesor y ancho 13,20 mm y longitud inicial 50,0 mm y fue realizado en concordancia con las normas ASTM A 370 y ASTM A 131; donde se obtuvo las propiedades mecánicas (ver tabla 5).

**Tabla 5.** Resultado del ensayo de tracción del acero galvanizado prepintado

Resultado del ensayo de tracción					
Número de probeta	Variación $L_f - l_0 = \Delta L$	Deformación unitaria( $\epsilon$ )	Esfuerzo de fluencia(Mpa)	Esfuerzo máximo(Mpa)	Elongación (%)
1	6,60	0,1320	577,27	854,55	13,20
2	4,01	0,0802	568,76	854,65	8,02
3	5,96	0,1192	525,58	815,50	11,92
Promedio	5,52	0,1105	557,20	841,57	11,05

Fuente: Laboratorio de Mecánica N°4-UNI.

#### Interpretación:

En la tabla 5, se determinó las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado, teniendo una variación de longitud promedio de 5,52 mm, deformación unitaria promedio de 0,1105, un esfuerzo de fluencia promedio de 557.20 Mpa, un esfuerzo máximo promedio 841,57 Mpa, y una elongación promedio de 11,05%.

Determinándose que es un acero estructural grado 50 y con muy buenas propiedades mecánicas.

#### 4.1.2 Ensayo de tracción en viga IPE 140

Se realizó el ensayo de tracción de cuatro (04) probetas extraídas de las vigas IPE 140, aplicando la norma ASTM E8/ E8M, teniendo como resultado (ver tabla 6).

**Tabla 6.** Ensayo de tracción de vigas IPE 140

Propiedades Mecánicas de la viga IPE 140			
Muestra	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Deformación unitaria( $\epsilon$ )	Módulo de Elasticidad (Mpa)
1	391,2	0,0023	222879
2	416,1	0,0026	210715
3	408,2	0,0023	227731
4	348,6	0,0019	206680
Promedio	391,0	0,0023	217001

Fuente: adaptado del cuadro comparativo ensayo de flexión (Prado, 2018, p. 2).

#### Interpretación:

En la tabla 6, se determinó las propiedades mecánicas de la viga IPE 140, teniendo un promedio de esfuerzo de fluencia de 391,0 Mpa, deformación unitaria promedio de 0,0023 y módulo de elasticidad promedio de 217001 Mpa.

#### 4.1.3 Ensayo de flexión vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal y sin refuerzo

De acuerdo al ensayo de flexión norma ASTM A6 y A6M, para tal fin se empleó 33 vigas IPE 140 en calidad estructural, se usó 18 vigas sin refuerzo (con nomenclatura "N") y 15 vigas con refuerzo longitudinal (con nomenclatura "Y"), se realizó el ensayo de flexión con cargas variables a una distancia determina desde 6,00 m hasta 0,69 m, arrojando valores de momentos flectores experimentales, teniendo como referencia el valor del momento flector teórico (calculado), como se puede apreciar en la figura 7.

**Tabla 7.** Momento flector promedio obtenido en vigas IPE 140 sin refuerzo vs momento flector obtenido en vigas IPE 140 con refuerzo

Distancia Lateral (m)	Momento Teórico(KN-m)	Designación de espécimen	Carga Medida(KN)	Momento medido(KN-m)	Momento promedio(KN-m)
6,00	7,0	600N1	7,4	7,4	7,5
		600N2	7,6	7,6	
		600N3	7,4	7,4	
		600Y1	13,5	13,5	13,6
		600Y2	14,3	14,3	
		600Y3	13,0	13,0	
4,80	8,9	480N1	12,1	9,7	9,6
		480N2	11,9	9,5	
		480N3	11,9	9,5	
		480Y1	18,5	14,8	14,9
		480Y2	19,9	15,9	
		480Y3	17,5	14,0	
3,60	12,3	360N1	25,6	15,4	14,7
		360N2	24,2	14,5	
		360N3	23,8	14,3	
		360Y1	32,1	19,3	19,8
		360Y2	34,7	20,8	
		360Y3	31,8	19,1	
2,40	20,6	240N1	53,1	21,2	20,3
		240N2	51,3	20,5	
		240N3	48,1	19,2	
		240Y1	67,7	27,1	27,3
		240Y2	68,1	27,2	
		240Y3	69,3	27,7	
1,55	26,9	155N1	115,1	29,7	30,1
		155N2	115,9	29,9	
		155N3	118,7	30,6	
		155Y1	127,9	33,0	32,1
		155Y2	126,7	32,7	
		155Y3	118,7	30,7	
0,69	33,6	069N1	306,0	35,2	34,9
		069N2	305,1	35,1	
		069N3	300,6	34,6	

Fuente: adaptado del cuadro comparativo ensayo de flexión (Prado, 2018, p. 5).

### **Interpretación:**

En la tabla 7, se obtuvo como resultados los valores de los momentos flectores, donde se apreció una mejora en la capacidad del momento flector de las vigas reforzadas en comparación con las vigas sin reforzar: para el tramo 6,0 m obtenemos 7,5 KN-m para la viga sin reforzar y en la viga reforzada 13,6 KN-m, lo cual nos da un 82% de mejora; para el tramo 4,80 m obtenemos 9,6 KN-m en la viga sin reforzar y en la viga reforzada obtenemos 14,9 KN-m, lo cual nos da 55,2% de mejora; para el tramo 3,60 m obtenemos 14,7 KN-m en la viga sin reforzar y en la viga reforzada obtenemos 19,8 KN-m, lo cual nos da 34,69% de mejora; para el tramo 2,40 m obtenemos 20,3 KN-m en la viga sin reforzar y en la viga reforzada 27,3 KN-m, lo cual nos da 34,48 % de mejora y para el tramo 1,55 m obtenemos 30,1 KN-m en la viga sin reforzar y en la viga reforzada 32,1 KN-m, lo cual nos da una mejora de 6,64%. Concluyendo que los refuerzos longitudinales montados en la viga IPE, generan mayor resistencia estructural hasta en un 82%, con respecto a las vigas sin reforzamiento.



*Figura 3.* Disposición del refuerzo en la viga IPE, con aplicación de cordones de soldadura espaciados, con la finalidad de tener una unión flexible



Figura 4. Máquina de ensayo de flexión.

#### 4.1.4 Ensayo de tracción en viga IPE 200

De acuerdo al ensayo de tracción en probetas de vigas IPE 200, norma DIN 10025 y DIN 59411, se determinó las propiedades mecánicas (ver tabla 8).

**Tabla 8.** *Propiedades mecánicas de las vigas IPE 200*

Muestra viga IPE 200	Esfuerzo de fluencia(Mpa)	Esfuerzo máximo(Mpa)	Elongación (%)
EN10025-2/2004	338,0	464,0	33,1
EN10219-1/2006/EN10021	437,0	554,0	24,8

Fuente: adaptado del cuadro comparativo ensayo de tracción (Bogatinoski, 2014, p. 3).

**Interpretación:**

En la tabla 8, se apreció el comportamiento de las propiedades mecánicas de la viga IPE 200 para norma EN 10025-2/2004, se aprecia un esfuerzo de fluencia de 338 Mpa y esfuerzo máximo de 464 Mpa y una elongación del 33,1%; ahora la viga para norma EN 10219-1/2006/EN 10021, tiene un esfuerzo de fluencia de 437 Mpa y esfuerzo máximo 554 Mpa y una elongación de 24,8 %.

**4.1.4 Ensayo de flexión en la conexión rígida y semirrígida**

De acuerdo al ensayo de flexión realizado en las 8 probetas de la viga IPE 200, en el cual se determinaron las propiedades mecánicas (ver tabla 9).

**Tabla 9. Momento flector versus rotación**

Probeta	Momento Flector (KN-cm)	Rotación( $\phi$ ) rad.
SP1	9500	0,010
SP2	5500	0,018
SP3	6000	0,030
SP4	8300	0,016
SP5	5800	0,020
SP6	1100	0,040
SP7	2200	0,019
SP8	1200	0,017

Fuente: adaptado de diagrama experimental de los 8 modelos de conexión (Bogatinoski, 2014, p.9).

**Interpretación:**

En la tabla 9, se evaluó 8 especímenes, de los cuales 5 especímenes con conexiones rígidas y 3 especímenes con conexiones semirrígidas. Analizando el diagrama comparativo de los 8 modelos ensayados se pudo concluir que la capacidad de carga del momento flector de los modelos con conexión rígida (SP1, SP2, SP3, SP4 y SP5) fue significativamente mayor que la que tiene las conexiones semirrígidas (SP6, SP7 y SP8). La capacidad de deformación (rotación) en las vigas

es inversamente proporcional a la capacidad de carga de la viga, es decir, las conexiones semirrígidas tienen mayor deformabilidad plástica y posibilidad de mayor rotación durante el uso de su capacidad total de carga, pero tienen menor capacidad de carga. Se analizaron todas las opciones y se optó por la conexión rígida SP1, ya que esta tiene una capacidad de momento flector de 9,5 KN-m.



*Figura 5. Modelo de conexión SP1.*



*Figura 6. Modelo de conexión SP2.*



Figura 7. Modelo de conexión SP3.



Figura 8. Modelo de conexión SP4.





*Figura 9. Modelo de conexión SP5.*



*Figura 10. Modelo de conexión SP6.*



*Figura 11. Modelo de conexión SP7.*



*Figura 12. Modelo de conexión SP8.*

#### 4.1.5 Diagrama experimental de tipos de conexión viga-columna ocho modelos

En la siguiente figura 2, se aprecia las curvas características de las 8 vigas IPE 200, con diferentes tipos de conexión sometidas a ensayo de flexión.

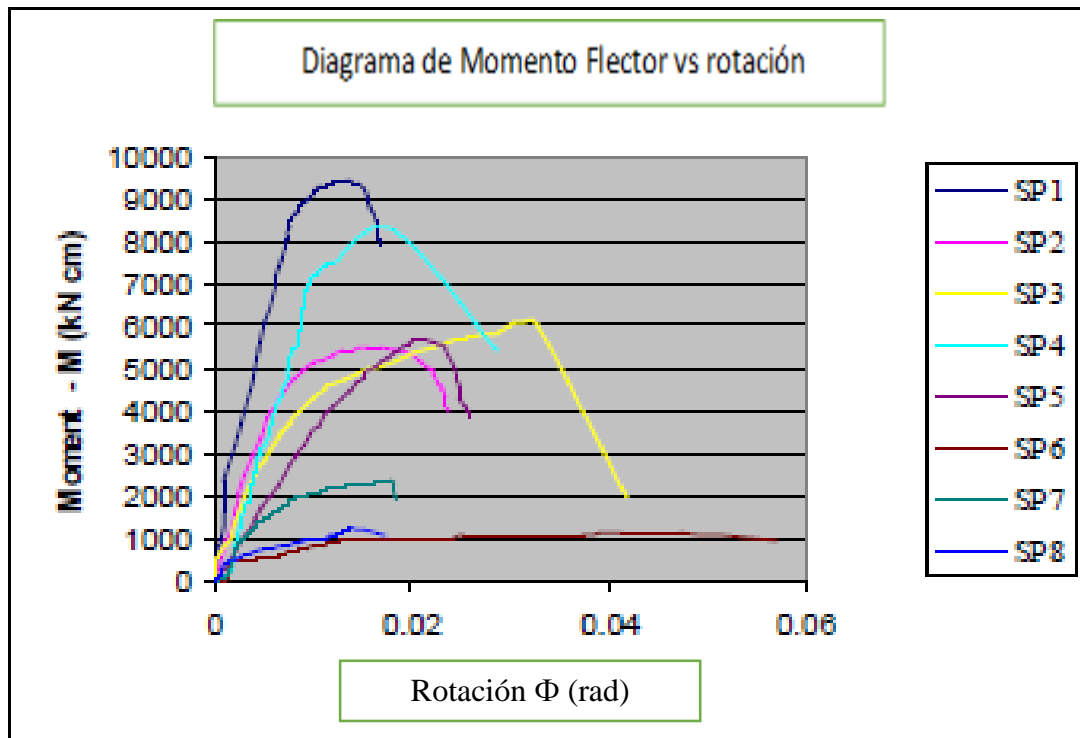


Figura 13. Diagrama experimental de 8 modelos de conexiones viga-columna.

En este diagrama se muestra el comportamiento de los 8 tipos de conexión viga-columna, sometidas a flexión, donde se aprecia la curva características del comportamiento de los especímenes respecto al máximo momento flector versus la rotación. Se aprecia también el comportamiento de los tipos de conexión en el caso de los semirrígidos es inversamente proporcional a la capacidad de carga, es decir a menor carga, mayor deformación; para el caso de las conexiones rígidas a mayor carga, menor deformación.

## V. DISCUSIÓN

Según Mendoza (2017) en su tesis “Análisis comparativo entre coberturas reticuladas convencionales y autoportantes, caso aplicativo: Centro de convenciones de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno”. Hizo el análisis y el desarrollo del diseño de los sistemas estructurales de armadura y autoportante, aplicando las normas E.030 y E.090, concluyó que en el comportamiento estructural, al comparar los esfuerzos de diseño entre los dos sistemas, tiene mejor desempeño el sistema autoportante. Ahora Laos (2018) en su tesis “propuesta alternativa de cubierta autoportante, en la optimización de costo-tiempo, para la construcción de almacenes Lima-Perú, su diseño se basó en los lineamientos de la normativa de las coberturas autoportantes, en este caso para la construcción de almacenes autoportantes, se basó en el Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE 2006, en su NTP –E.020 dice que toda edificación y sus artes deben ser capaces de resistir sus cargas que se les aplique como consecuencia de su uso, la NTP-E.030, esta norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en el artículo 3°. Ahora la NTP-E.090 es la norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones, el cual contiene los criterios de métodos de factores de carga y resistencia (LRFD) y el método esfuerzos permisibles (ASD). Ahora Vargas (2017), en su tesis “Diseño estructural de nave industrial metálica para mejoramiento de almacenes en Av. Argentina, Callao-2017”, aplicó también la misma metodología factor de carga y resistencia LRFD y el método de los esfuerzos permisibles ASD y la norma E.020 cargas, E.030 diseño sismo resistente y E.090 estructuras metálicas. Ahora en nuestro caso para el diseño de la nave industrial con la implementación de la cobertura autoportante, coincidimos con los tres autores, Mendoza, Laos y Vargas, ya que estamos aplicando para nuestro diseño, la misma metodología de diseño LRFD y ASD y nos basamos en el Reglamento Nacional de edificaciones y sus normas correspondientes E.020 cargas, E.030 diseño sismorresistente y E.090 estructuras metálicas, siendo esta la metodología usada para el diseño estructural de naves industriales.

Según Lozano (2019). En su tesis “Diseño estructural de acero del techo parabólico para el coliseo polideportivo Acudesi-Trujillo”, en su investigación optó por usar el material acero estructura calidad GR 37 zincalum, con un espesor de 0,50 mm., cuyas propiedades mecánicas son: esfuerzo de fluencia de 235,35 Mpa. Ahora según Acesco (2020) fabricante de aceros laminados para cubiertas metálicas, en su ficha técnica de planchas de acero, dentro de las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado, cuya norma técnica del acero es ASTM 653, se encontró que, para GR 50 el esfuerzo de fluencia es 340,0 Mpa. Ahora Laos (2018). En su tesis “propuesta alternativa de cubierta autoportante, en la optimización de costo-tiempo, para la construcción de almacenes Lima-Perú”, el opto por usar el material acero INCO 70.4, TR-4 de 0,50 mm de espesor, que tiene las siguientes propiedades mecánicas límite elástico 250 Mpa, un esfuerzo de rotura de 330,0 Mpa y una elongación de 12%. Para Casariego, Casafont, Ferrer y Marimon (2019) En su artículo “Analytical study of flat and curved trapezoidal cold formed steel sheets by means of the yield line theory. Part 1: Flat sheets without transverse corrugations”, quienes emplearon el acero H55 con un espesor de 0,80 mm., cuyas propiedades mecánicas obtenidas fue un esfuerzo de fluencia experimental promedio de 338,0 Mpa. En nuestra investigación, se ha empleado el acero galvanizado prepintado grado 50, de 1,0 mm de espesor, con propiedades mecánicas del esfuerzo de fluencia promedio de 557,20 Mpa y una elongación de 11,05 %. Haciendo un análisis con los diversos tipos de acero empleados por los antecedentes Lozano, Laos, Acesco y Casariego, Casafont, Ferrer y Marimon, podemos decir que el tipo de acero galvanizado prepintado GR 50, seleccionado en nuestra investigación, corroborando las propiedades mecánicas a través del ensayo de tracción, es el que tiene mejores propiedades mecánicas, mayor esfuerzo de fluencia y la elongación está dentro del rango especificado.

Según Bogatinoski, Trajanoska y Arsova-Milosevska (2014) en su artículo *Design of Steel Beam-Column Connections*, en su evaluación de la viga IPE 200 cuyas dimensiones de la sección son altura 200 mm, ancho 100 mm, se utilizó la norma EN10025-2, realizaron ensayos de tracción de probetas del material en el laboratorio, dando como resultados las propiedades mecánicas del acero, un esfuerzo de fluencia 338,0 Mpa, un esfuerzo máximo 464,0 Mpa y una elongación de 33,1 %. Ahora Prado, Carrillo, Ospina y Ramírez-Amaya (2018), en su artículo *Experimental assessment of I-shaped steel beams with longitudinal stiffeners under lateral-torsional buckling*, obtuvo un resultado de los ensayos de tracción para la viga IPE 140 cuyas dimensiones de la sección son altura 140 mm, ancho 73 mm y con un esfuerzo de fluencia promedio 391,0 Mpa, deformación unitaria de 0.0023 y el módulo de elasticidad 217001 Mpa, lo que nos indica, que el comportamiento estructural y las propiedades mecánicas es mayor en la viga IPE 140 con refuerzo que la viga IPE 200 aun así teniendo mayor dimensión. Ahora Roca (2005) en su estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales, en la determinación de elementos mejorados, realizó ensayos en el laboratorio comparando una viga patrón, cuyas dimensiones fueron altura 120 mm y ancho 60 mm, y espesor 8 mm, donde obtuvo el esfuerzo de rotura de 218,68 Mpa., con una carga necesaria de rotura de 33,25 KN; ahora la viga IPN, cuyas dimensiones altura 140 mm, ancho 66mm. y espesor 5,7 mm donde se obtuvo como resultado el esfuerzo de rotura 172,95 Mpa, con una carga necesaria de rotura de 42,04 KN; la viga IPE, cuyas dimensiones altura 158 mm, ancho 78 mm y espesor 4,9 mm, donde se obtuvo como resultado el esfuerzo de rotura 157,88 Mpa, con una carga necesaria de rotura de 46,05 KN; vigas HEB que tiene las dimensiones altura 80mm., ancho 80 mm, y espesor 5,5 mm, se obtuvo en el ensayo el esfuerzo de rotura de 256,08 Mpa y carga necesaria de rotura de 28,39 KN, donde concluye que es la viga IPE, es la que presenta el mejor comportamiento mecánico, la que soporta más carga y la menor deformación, lo que demostraría en la investigación que la viga selecciona es la adecuada para el mejoramiento estructural de la nave industrial. Ahora en nuestro caso coincidimos

con su investigación de Roca, en la selección de la viga IPE 140, que es la que cumple con el requerimiento del mejoramiento estructural.

Según Bogatinoski, Trajanoska y Arsova-Milosevska (2014) en su artículo Design of Steel Beam-Column Connections, el resultado obtenido de la investigación, del ensayo de flexión de la viga con conexiones rígidas y semirrígidas, se obtuvo el siguiente resultado, para el espécimen SP1, se obtuvo un momento flector 9,5 KN-m; espécimen SP2, se obtuvo un momento flector 5,5 KN-m, en el espécimen SP3, cuyo momento flector fue 6,0 KN-m; en el espécimen SP4, cuyo momento flector fue 8,3 KN-m; en el espécimen SP5 cuyo momento flector 5,8 KN-m; en el espécimen SP6 cuyo momento flector fue 1,1 KN-m; para el espécimen SP7 cuyo momento flector fue 2,2 KN-m y el espécimen SP8, cuyo momento flector fue 1,2 KN-m; haciendo una comparación con los resultados de los 8 especímenes de tipo de conexión viga-columna; se obtuvo que el tipo de conexión SP1 rígida, es la que tiene mejor comportamiento estático. Ahora en nuestro caso coincidimos con Bogatinoski, Trajanoska y Arsova-Milosevska, ya que vamos a implementar el tipo de conexión rígida SP1, como elemento de conexión entre la viga y la columna, siendo este el que va aportar en el mejoramiento estructural de la nave industrial. La presente investigación es un aporte a las futuras investigaciones en el tema del del mejoramiento estructural de las naves industriales, ya que hay mucho por indagar al respecto, los últimos avances se debe mucho a la tecnología de los materiales y a los avances en la industria de la metalurgia, cada vez aparecen aceros con mejores propiedades mecánicas, con un alto límite elástico, muy ligero, mayor módulo de elasticidad y mayor resistencia.

Esta investigación está enfocado en mejorar el ambiente laboral del personal de planta, dotándolos de la comodidad necesaria, dándoles una buena protección del medio ambiente y la ergonomía del puesto de trabajo, para un buen rendimiento y desempeño en la actividad laboral.

## **VI. CONCLUSIONES**

1.-Se concluye, que la implementación de la cobertura autoportante de acero galvanizado prepintado, complementado con la parte estructural, vigas IPE 140 reforzadas longitudinalmente y el tipo de conexión rígida de las vigas-columna, va permitir tener una mayor resistencia y un mejor comportamiento estructural de la nave industrial.

2.-De acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante el esfuerzo de fluencia del acero galvanizado prepintado es 340,00 Mpa, pero mediante ensayo de tracción se obtuvo un esfuerzo de fluencia 557,20 Mpa, comparado este resultado con las especificaciones técnicas del fabricante, se concluye que el resultado obtenido satisface el mejoramiento estructural.

3.-Se determinó que en los ensayos de flexión realizada en vigas IPE 140 sin reforzar en comparación con las vigas reforzadas longitudinalmente, se halló una mejora en la capacidad estructural de las vigas reforzadas hasta en un 82% de mejora en comparación con las vigas sin reforzar, este resultado es alentador, ya que permite tener un mejoramiento estructural de la nave industrial.

4.-Se determinó, que en los ensayos de flexión realizados a los 8 especímenes de las vigas con conexión rígida y semirrígida, dando como resultado, que el tipo de conexión más óptima es la conexión rígida, ya que se obtuvo mayor resistencia y desempeño estructural alrededor de 9,5 KN-m, comparado con la conexión semirrígida se obtuvo alrededor de 1,1 KN-m, con este resultado permite dotar a todo el sistema estructural de la nave industrial, con el tipo de conexión rígida, ya que tiene mayor capacidad de momento flector.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Como se alcanzó evidenciar en la tesis presentada, la implementación del techo autoportante con acero galvanizado prepintado, mejora la capacidad estructural de la nave industrial, se recomienda realizar investigaciones con otras variedades de acero usadas actualmente para techos industriales.

De los resultados del estudio de las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado, además del ensayo de tracción, se recomienda realizar el ensayo de dureza, para obtener más datos de las propiedades mecánicas.

Se recomienda investigar el empleo de vigas I con otras secciones y dimensiones, como una alternativa de aplicación al diseño, verificando que tenga propiedades mecánicas similares o mejores a lo desarrollado en la presente investigación.

Se exhorta a los laboratorios que existen en nuestro medio, a realizar ensayos de tracción y de flexión en vigas de diferentes secciones y con diferentes tipos de conexiones viga-columna, para poder establecer las propiedades mecánicas y la mejora en el diseño.

## REFERENCIAS

ABAD, Carmen. Diseño de un sistema constructivo de cubierta curvada autoportante de chapa de acero conformada en frío. Proyecto/Trabajo final de Carrera, España: Escuela técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2016.129 pp.

Disponible en <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/101942>

ACESCO. Ficha técnica de acero recubierto galvanizado y pintado. [en línea]. Actualizado agosto de 2020 [fecha de consulta 07 de julio de 2020].

Disponible en <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-acero-recubierto.pdf>

BEER, Ferdinand y JOHNSTON, Russell. Mecánica de materiales. 7ma.ed. México: Mc Graw-Hill, 2018. 794 pp.

ISBN. 9781456260866

BOGATINOSKI Z., TRAJANOSKA, B. y ARSOVA-MILOSEVSKA G. Design of Steel Beam-Column Connections [en línea]. Macedonia: SCOPJE, 2014 [Fecha de consulta: 04 de julio de 2020].

Disponible en <https://search.proquest.com/docview/1955977030/6B614C3AB3F94B78PQ/8>

ISSN: 22178309

BOJORQUE, Milton. Calculo y diseño estructural de una nave industrial de acero para la cubierta de una cancha deportiva ubicada en la Parroquia Simón Bolívar del Cantón Gualaceo, Cuenca-Ecuador. Tesis (Ingeniero Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones). Cuenca: Universidad del Azuay, 2017. 206 pp.

Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7009>

BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo. 2012. 38pp.

CABELLO, Julio. Diseño de estructuras de naves de acero. Tesis (Ingeniero Civil). México: Universidad Nacional Autónoma de México D.F, 2016.175 pp.

Disponible

en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10859/TESIS%20DISE%C3%91O%20DE%20NAVES%20DE%20ACERO.pdf?sequence=1>. Google genera

CAHUANA, Edwin. Optimización del diseño de una nave industrial tipo pesado aplicable a la pequeña y mediana empresa industrial en el Perú ubicada a menos de 2500 M.S.N.M con luz entre 15 y 25 m. Tesis (Ingeniero Mecánico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.

Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6840/MCcaff.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASARIEGO P., CASAFONT M., FERRER M. y MARIMON F. Analytical study of flat and curved trapezoidal cold formed steel sheets by means of the yield line theory Thin-Walled Structures [en línea]. España: UPC, 2019 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85059179085&doi=10.1016%2fj.tws.2018.12.018&origin=inward&txGid=af6ccc746082864b876caf2eadb395eb>

ISSN: 0263-8231

CERIBASI, Seyit. Reliability of Steel Truss Roof Systems Under Variable Snow Load Profiles [en línea]. Corea: Sociedad Coreana de la Construcción, 2020 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s13296-020-00307-7>

ISSN: 2093-6311

CÓDIGO DE ÉTICA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ.

Disponible

en:

[http://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo\\_de\\_etica\\_del\\_cip.pdf](http://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdf)

COLLACHAUGUA, Wilfredo. Recuperación funcional de una nave industrial mediante el análisis de su estructura para la operatividad de dos grúas puentes- Minera Yanacocha- Cajamarca. Tesis (Ingeniero Mecánico). Callao: Universidad Nacional de Callao, 2017.

Disponible en: [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3177/Collachagua%20Simon tesis 2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3177/Collachagua%20Simon%20tesis%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

COLLIERS, Jimmy, DEGROOTE, Joris, MOLLAERT, Marijke y DE LAET, Lars. Mean pressure coefficient distributions over hyperbolic paraboloid roof and canopy structures with different shape parameters in a uniform flow with very small turbulence [en línea]. Bélgica: UGENT, 2020 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029619322035?via%3Dihub>

ISSN: 0263-8231

DEL COZ, J., GARCIA, P., VILAN J., ALVAREZ F., NAVARRO, A. y ALONSO-MARTINEZ ,M. Nonlinear analysis of the pressure field in industrial buildings with curved metallic roofs due to the wind effect by FEM [en línea]. España: UNIOVI, 2013 [Fecha de consulta: 22 de julio de 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300313007066?via%3Dihub>

ISSN: 00963003

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. 6ª.ed. Metodología de la investigación. México: Mc Graw-Hill, 2014. 600 pp.  
ISBN. 9781456223960

HIBBELER , Russell. Mecánica de materiales. 8va. Ed, México: Pearson Educación, 2015. 862 pp.

ISBN: 9786073205597

ISLAND METALS. The History of metal Roofing. Disponible en:

<https://www.islandmetals.com/history-of-metal-roofing.html>

KAVEH, Ali, SEYED, Hoseini, HOSSEINE, Pedram y BAKHTYARI, Mohsen. Optimal Design of Steel Curved Roof Frames by Enhanced Vibrating Particles System Algorithm. 2019.

Disponible en: <https://pp.bme.hu/ci/article/view/14812/8471>

ISSN: 05536626

KORMAZ, Kasim y UZER, Musa. Seismic Behavior Investigation of Prefabricated Steel Industrial Buildings [en línea]. Turquía: Universidad Técnica de Estambul, 2018 [Fecha de consulta: 27 de junio de 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2199083286/D91FDB63F2B44D42PQ/1>

ISSN: 1662-9795.

KYVELOU, P., KYPRIANOU, C., GARDNER, L. y NETHERCOT, D.A. Challenges and solutions associated with the simulation and design of cold-formed steel structural Systems [en línea]. Reino Unido: Colegio Imperial de Londres, 2019 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823119301661?via%3>

[Dihub](#)

ISSN: 0263-8231.

LANDOLFO, Raffaele. Lightweight Steel Constructions for Seismic Areas [en línea] Italia, 2018 [Fecha de consulta: 04 de julio de 2020].

Disponible en [https://search.proquest.com/docview/2199075565/274CA142\\_D0C94BEEPQ/1?accountid=37408](https://search.proquest.com/docview/2199075565/274CA142_D0C94BEEPQ/1?accountid=37408)

ISSN: 10139826

LAOS, Roberto. Propuesta alternativa de Cubierta Autoportante, en la optimización de Costo-Tiempo, para la construcción de almacenes, Lima-Perú 2018. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de Ingeniería Civil, 2018.116 pp.

Disponible en <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25512>

LOUREIRO, A. y CALVO, R. Comparative real scale tests of Z purlins roof system [en línea]. España: UDC, 2016 [Fecha de consulta: 05 de julio de 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1927172492/fulltextPDF/F54868AAEA454FE3PQ/19>

ISSN: 00200883

LOZANO, Cesar. Diseño estructural de acero del techo parabólico para el coliseo polideportivo Acudesi-Trujillo, Trujillo- Perú 2019. Tesis (Ingeniero Mecánico). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Escuela profesional de Ingeniería Mecánica, 209. 185 pp.

Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11894>

LUNA, Carlos, YENGLER, Carlos, DURAN, Kony, LUJAN, Gladys, SANTA CRUZ, Flor y ALDAVE, Rafael. 1.ª ed. Orientaciones para elaborar una tesis. Perú. Fondo Editorial -Trujillo, 2017. 84 pp.

ISBN. 978-612-4158-84-1

MENDOZA, Marwin. Análisis comparativo entre coberturas reticuladas convencionales y autoportantes, caso aplicativo: Centro de convenciones de la Universidad nacional del Altiplano-Puno. Tesis (Ingeniero Civil). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de Ingeniería Civil, 2017.154 pp.

Disponible en [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3982/Mendoza\\_Larico\\_Marwin\\_Douglas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3982/Mendoza_Larico_Marwin_Douglas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MEZZOMO, G., ITURRIOZ, I., GRIGOLETTI, G. y GOMES, H. Influence of the fixing type in the optimization of trapezoidal roofing sheets [en línea]. Brasil: UPF, 2014. [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X1400008X?via%3Dihub>

DOI: 10.1016/j.jcsr.2014.01.006

MUÑOZ, H. (2004). El presupuesto en un protocolo de investigación. Revista Salud Pública y Nutrición. Número especial. Recuperado de: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/ee-8-2004/05.pdf>

MUÑOZ Juan. La alta resistencia que brindan los perfiles metálicos [en línea]. CE Noticias Financieras 26 de octubre de 2020 [Fecha de consulta: 03 de noviembre de 2020].

Disponible en <https://search.proquest.com/wire-feeds/la-alta-resistencia-que-brindan-los-perfiles/docview/2454580800/se-2?accountid=37408>

ID: 2454580800

PERU estructura empresarial 2018: Instituto Nacional de Estadística e Informática. (Noviembre, 2019). Disponible en [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1703/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1703/libro.pdf)

PIEKARCZUK, A. Test-supported numerical analysis for evaluation of the load capacity of thin-walled corrugated profiles [en línea].Polonia: ITB, 2017 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en <http://journals.pan.pl/dlibra/publication/121428/edition/105814/content>

DOI:10.1515/bpasts-2017-0087.

PRADO, Néstor, CARRILLO, Julián, OSPINA, Gustavo y RAMÍREZ-AMAYA Darío. Experimental assessment of I-shaped steel beams with longitudinal stiffeners under

lateral-torsional buckling [en línea]. Colombia: UPB, 2018 [Fecha de consulta: 05 de julio de 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2159701728/F54868AAEA454FE3PQ/12?accountid=37408>

ISSN: 00127353

PRIETO-SERRANO, Luis. Método de la deformación unitaria para diseño de vigas rectangulares doblemente reforzadas [en línea]. Colombia: UPTC, 2015 [fecha de consulta: 07 de julio de 2020].

Disponible en <https://search.proquest.com/docview/1865436943/225EFF2803D94BF1PQ/1?accountid=37408>

ISSN: 01211129

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (2006). Norma E.020, E.030, E.090. Disponible en <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

VALDERRAMA, Santiago. 5.<sup>a</sup> reimpresión. Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Perú. Editorial San Marcos, 2015. 495 pp.

ISBN: 978-612-302-878-7

ROCA, Ramón, Xavier. Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales [en línea] Barcelona: 2005 [fecha de consulta: 20 de setiembre de 2020]. Capítulo 6. Propuesta de aplicación de MC en elementos constructivos de edificios industriales. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93474/08Xrr08de17.pdf>

ISBN: 8468979759

SALEEM M. y QURESHI H. Design Solutions for Sustainable Construction of Pre Engineered Steel Buildings [en línea]. Arabia Saudi, 2018 [Fecha de consulta: 11 de junio del 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2108755489/F54868AAEA454FE3PQ/14>

e-ISSN: 20711050



SAN, BINGBING; CHEN, XU; QIU, YE. Three-Dimensional Aerodynamic Optimization of Single-Layer Reticulated Cylindrical Roofs Subjected to Mean Wind Loads [en línea]. China, 2019 [Fecha de consulta: 11 de junio de 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2283198148/12213AE826964955PQ/9>

ISSN: 16878086

SENGUPTA, Jayashree, GHOSH, Arghya y CHAKRAVORTY, Dipankar. Progressive Failure Analysis of Laminated Composite Cylindrical Shell Roofs [en línea]. India, 2015 [Fecha de consulta: 07 de julio 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1681856922/16060C467B3B49D7PQ/29>

ISSN: 15477029

SINGH, Jagbir y KUMAR, Amrit. Effects of roof slope and wind direction on wind pressure distribution on the roof of a square plan pyramidal low-rise building using CFD simulation [en línea] Mayo, 2019. [Fecha de consulta: 01 de julio de 2020].

Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/2219345602/4C8C9B09B0174A66PQ/1>

ISSN: 20083556

SOTO Quiroz, Roger Ivan. 2da. Edición. La tesis de maestría y doctorado en 4 pasos. Perú. Editora Diograf, 2015. 131 pp.

ISBN: 978-612-00-2104-0

URBAN, Pascual. Construcciones de estructuras metálicas. 5.<sup>a</sup> ed. España: Editorial Club Universitario, 2015. 474 pp.

ISBN: 8416479224

VARGAS, William. Diseño estructural de nave industrial metálica para mejoramiento de almacenes en Av. Argentina, Callao-2017. Tesis (Ingeniero Civil).

Lima: Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de Ingeniería Civil, 2017. 152 pp.

Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20071>

## ANEXO 1. Operacionalidad de Variables.

Mejoramiento estructural de nave industrial con la implementación de cobertura autoportante y vigas IPE, Puente Piedra 2020

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición			
Variable dependiente (Y) Nave industrial	Nave industrial se puede definir como la instalación física o edificación diseñada y construida para realizar actividades industriales de producción, transformación, manufactura, ensamble, procesos industriales, almacenaje y distribución (Cabello, 2016, p.21)	Se hará los cálculos de acuerdo a los métodos de diseño LRFD y ASD y se seguirá el procedimiento de la norma del Reglamento Nacional de Edificaciones	Diseño estructural	Método LRFD Método ASD	Razón			
Variable Independiente:(X) Cobertura autoportante	Una cobertura autoportante es un sistema estructural que otorga rigidez y a la vez se autosostiene, gracias al tipo de perfil este va tener un mejor comportamiento ante la sollicitación de cargas" (Abad, 2016).	Para la implementación de la cobertura autoportante, se empleara un acero galvanizado prepintado y se utilizará un perfil trapezoidal, se determinaran las propiedades físicas y mecánicas del acero prepintado, mediante el ensayo de tracción.	propiedades físicas del acero galvanizado prepintado	recubrimiento	Razón			
				espesor				
				ancho efectivo				
						Propiedades físicas del perfil trapezoidal	ángulo	Razón
						ancho efectivo		
							peralte	
			Propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado	Esfuerzo de fluencia	Razón			
				Esfuerzo máximo				
				elongación				
Variable Independiente:(X) Vigas IPE	Vigas IPE, es la viga que presenta el mejor comportamiento mecánico, la que soporta más carga y la de menor deformación (Roca, 2005, p.10)	Las vigas IPE, se evaluara con reforzamiento y sin reforzamiento, mediante el ensayo de tracción y flexión. De igual forma para el tipo de conexión se utilizara 8 especímenes y se realizara el ensayo de flexión.	Vigas IPE 140	Máximo momento flector	Razón			
						Esfuerzo de fluencia		
						distancia		
			Conexión viga-columna			Esfuerzo de fluencia	Razón	
						Rotación		
						Máximo momento flector		

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2. Matriz de consistencia

Mejoramiento estructural de la Nave industrial con la implementación de cobertura autoportante y vigas IPE, Puente Piedra, 2020.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>Variable dependiente (Y)</b> <b>Cobertura autoportante</b> <b>Nave industrial</b>	Diseño estructural	Método LRFD	Norma E.020	
Cómo influye la implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE en la parte estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Mejorar estructuralmente la nave industrial con la implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE, Puente Piedra, 2020.	La implementación de la cobertura autoportante y vigas IPE permitirá el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.			Propiedades físicas del acero galvanizado pre pintado	Método ASD	Norma E.030
						recubrimiento	Norma E.090
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>Variable Independiente (Y)</b> <b>(X)</b> <b>Cobertura autoportante</b>	Propiedades físicas del perfil trapezoidal	espesor	Ficha técnica NTC 4011 – ASTM A653	
De qué manera las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante incide en la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Establecer las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante en la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	Las propiedades mecánicas del acero galvanizado prepintado de la cobertura autoportante mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.			Propiedades mecánicas del acero galvanizado pre pintado	ancho	Calibrador
						ángulo	Ficha de recolección de datos
De qué manera incide el uso de vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal, en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Comparar las vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal y sin refuerzo, en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	El uso de vigas IPE 140 con refuerzo longitudinal, mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	<b>Variable Independiente (X) vigas IPE</b>	Vigas IPE 140	ancho efectivo	Calibrador	
					peralte	Wincha	
De qué manera el tipo de conexión viga IPE-columna incidirá en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Establecer el tipo de conexión viga IPE-columna, para la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	El tipo de conexión viga IPE-columna mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	Conexión viga IPE-columna	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo de fluencia	Ensayo de tracción	
					Esfuerzo máximo	Ensayo de tracción norma ASTM A 370 Y ASTM A 131	
De qué manera el tipo de conexión viga IPE-columna incidirá en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Establecer el tipo de conexión viga IPE-columna, para la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	El tipo de conexión viga IPE-columna mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	Conexión viga IPE-columna	Esfuerzo de fluencia	elongación		
					Esfuerzo de fluencia	Máximo momento flector	Ensayo de tracción norma ASTM E8/E8M
						distancia	Ensayo de flexión
De qué manera el tipo de conexión viga IPE-columna incidirá en el mejoramiento estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020?	Establecer el tipo de conexión viga IPE-columna, para la mejora estructural de la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	El tipo de conexión viga IPE-columna mejorará estructuralmente la nave industrial, Puente Piedra, 2020.	Conexión viga IPE-columna	Esfuerzo de fluencia	rotación	Ensayo de flexión	
					Esfuerzo de fluencia	rotación	Ensayo de tracción norma DIN 10025 y 59411
						Máximo momento flector	Ensayo de flexión
						Norma ASTM A6 y A6M	

Fuente: elaboración propia

### ANEXO 3. Instrumentos de recolección de datos

Ficha de recolección de datos durante el ensayo de tracción

Ficha de recolección de datos durante el ensayo				
Puntos de control	Longitud (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Fuerza(KN)	Variación $\Delta L$ (mm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
VALIDACION DEL INSTRUMENTO				
NOMBRE Y APELLIDO			FIRMA Y CIP	
Ing. Luis Alfredo Cabrera Longa			 ----- LUIS ALFREDO CABRERA LONGA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 42056	
Ing. Alexis Leonel Mejia Gomez			 ----- ALEXIS LEONEL MEJIA GOMEZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 216928	
Ing. Guillermo Alvarez Palacios			 Ing. Guillermo M. Alvarez Palacios CIP N° 62493	

Ficha de control de calidad del perfil

Ficha de inspección de control de calidad del perfil				
Tramos	ángulo	Ancho	Peralte (mm)	Espesor (mm)
	$\theta^\circ$	efectivo(mm)		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
VALIDACION DEL INSTRUMENTO				
NOMBRE Y APELLIDO			FIRMA Y CIP	
Ing. Alfredo Cabrera Longa			 <small>ALFREDO CABRERA LONGA INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 42056</small>	
Ing. Alexis Leonel Mejia Gomez			 <small>ALEXIS LEONEL MEJIA GOMEZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 210928</small>	
Ing. Guillermo Alvarez Palacios			 <small>Ing. Guillermo M. Alvarez Palacios CIP N° 62493</small>	

## ANEXO 4

### Resultado de ensayo de Tracción



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Mecánica  
Laboratorio de Mecánica N° 4**

INFORME TECNICO

Lb4 - 0541 - 2020

### ENSAYO DE TRACCIÓN A LAMINA DE ACERO PINTADO DE AZUL Y CREMA

\* SOLICITANTE : **ARNULFO ALEGRE ELERA**  
 \* REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 106716  
 \* FECHA : Lima, 07 de Octubre de 2020

1.	ANTECEDENTES	Se recibió una (01) plancha de acero, con la finalidad de realizarle los siguientes ensayos: * Ensayo de Tracción																																								
2.	DE LA MUESTRA	Se identificó según el cliente, como: Una (01) plancha de prepainted galvanizado stell coil: * Serie : GZGT20190906 * Date : 2019/10/14 * Tamaño : 1.2 x 1000 mm																																								
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	* Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca AMSLER, capacidad 5 Ton. * Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm. * Micrómetro digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,001 mm. * Medidor de espesores de recubrimiento, marca FISCHER, aproximación 1 µm.																																								
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	* T. : 20 °C * H.R. : 70 %																																								
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma ASTM A 370 Norma ASTM A 131																																								
<b>RESULTADOS</b> <b>6.1 Ensayo de Tracción</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (mm)</th> <th>Ancho (mm)</th> <th>Área (mm<sup>2</sup>)</th> <th>Longitud Inicial (mm)</th> <th>Longitud Final (mm)</th> <th>Fuerza de Fluencia (Kgf)</th> <th>Fuerza Máxima (Kgf)</th> <th>Esfuerzo de Fluencia Kg/mm<sup>2</sup> (Mpa)</th> <th>Esfuerzo Máximo Kg/mm<sup>2</sup> (Mpa)</th> <th>Elongación %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.00</td> <td>13.20</td> <td>13.20</td> <td>50.00</td> <td>56.60</td> <td>777.02</td> <td>1150.24</td> <td>58.87 ( 577.27 )</td> <td>87.14 ( 854.55 )</td> <td>13.20</td> </tr> <tr> <td>1.01</td> <td>13.23</td> <td>13.36</td> <td>50.00</td> <td>54.01</td> <td>774.98</td> <td>1164.52</td> <td>58.00 ( 568.76 )</td> <td>87.15 ( 854.65 )</td> <td>8.02</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>12.90</td> <td>12.90</td> <td>50.00</td> <td>55.96</td> <td>691.37</td> <td>1072.74</td> <td>53.59 ( 525.58 )</td> <td>83.16 ( 815.50 )</td> <td>11.92</td> </tr> </tbody> </table>			Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza de Fluencia (Kgf)	Fuerza Máxima (Kgf)	Esfuerzo de Fluencia Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Esfuerzo Máximo Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Elongación %	1.00	13.20	13.20	50.00	56.60	777.02	1150.24	58.87 ( 577.27 )	87.14 ( 854.55 )	13.20	1.01	13.23	13.36	50.00	54.01	774.98	1164.52	58.00 ( 568.76 )	87.15 ( 854.65 )	8.02	1.00	12.90	12.90	50.00	55.96	691.37	1072.74	53.59 ( 525.58 )	83.16 ( 815.50 )	11.92
Espesor (mm)	Ancho (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza de Fluencia (Kgf)	Fuerza Máxima (Kgf)	Esfuerzo de Fluencia Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Esfuerzo Máximo Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	Elongación %																																	
1.00	13.20	13.20	50.00	56.60	777.02	1150.24	58.87 ( 577.27 )	87.14 ( 854.55 )	13.20																																	
1.01	13.23	13.36	50.00	54.01	774.98	1164.52	58.00 ( 568.76 )	87.15 ( 854.65 )	8.02																																	
1.00	12.90	12.90	50.00	55.96	691.37	1072.74	53.59 ( 525.58 )	83.16 ( 815.50 )	11.92																																	
* Código de autenticación : CCCXXIX DXLI CADE IBAN																																										



**MSC. ING. WINSTON ACEL/AS PAJARES**  
 CIP: 34882  
 Jefe del Laboratorio de Mecánica - Lab. N° 4

## ANEXO 5 PANEL FOTOGRAFICO

Probetas de acero galvanizado prepintado usadas para el ensayo de tracción.

Lb4 - 0541 - 2020





## Vista fotográfica del perfil trapezoidal

