



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el
mejoramiento de cubierta de la PTAR. volvo, Lurín - 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Amezquita Hinojosa, Jean Pierre

[\(ORCID:0000-0001-6035-9304 \)](https://orcid.org/0000-0001-6035-9304)

Diaz Carrasco, Richard Jhonnatan

[\(ORCID:0000-0001-6035-6488 \)](https://orcid.org/0000-0001-6035-6488)

ASESOR:

MG, ING. Pinto Barrantes, Raúl Antonio

[\(ORCID:0000-0002-9573-0182\)](https://orcid.org/0000-0002-9573-0182)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2020

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de investigación al pilar que son nuestras madres (Laura Hinostroza y Rosa María Carrasco) y a aquellas personas involucradas en nuestro crecimiento personal y profesional.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional, en especial nuestros hermanos (Andy Amézquita, Rosalyn Diaz) y al ingeniero Christian Hinostraza por el apoyo brindado.

Así mismo agradecemos a nuestro asesor Mg. Ing. Raúl Antonio Pinto Barrantes, por toda su contribución en el desarrollo de la presente tesis.

Índice de contenidos

| | |
|---|-----|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Índice de contenidos..... | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de figuras..... | vii |
| Resumen..... | vi |
| Abstract..... | vii |
| I. INTRODUCCIÓN | 01 |
| II. MARCO TEÓRICO | 05 |
| III. METODOLOGÍA | |
| 3.1 Tipo y diseño de investigación | 38 |
| 3.2 Variables y operacionalización | 40 |
| 3.3 Población, muestra y muestreo | 43 |
| 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 44 |
| 3.5 Procedimientos | 45 |
| 3.6 Método de análisis de datos | 45 |
| 3.7 Aspectos éticos | 45 |
| IV. RESULTADOS | |
| 4.1 Desarrollo del procedimiento | 47 |
| 4.2 Resultados | 60 |
| V. DISCUSIÓN | 86 |
| VI. CONCLUSIONES | 89 |
| VII. RECOMENDACIONES | 91 |
| REFERENCIAS | 92 |
| ANEXOS | 95 |

Índice de gráficos y figuras

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Estructura del compuesto a nivel micro-mecánico (ACI 440R-96 1996) | 10 |
| Figura 2 | Esquema de fabricación de barras por pultrusión | 12 |
| Figura 3 | Planta de fabricación de láminas por pultrusión | 14 |
| Figura 4 | Diagrama tensión-deformación de distintas fibras | 18 |
| Figura 5 | Varilla de FRP | 25 |
| Figura 6 | Puente peatonal con perfiles de FRP | 26 |
| Figura 7 | Curvas típicas de esfuerzo – deformación para productos FRP, comparadas con el acero de refuerzo | 27 |
| Figura 8 | Perfiles de GFRP | 28 |
| Figura 9 | Hierro | 29 |
| Figura 10 | Carbono | 29 |
| Figura 11 | Laminado en caliente | 29 |
| Figura 12 | Perfiles metálicos | 30 |
| Figura 13 | proceso de fabricación y rolado | 34 |
| Figura 14 | Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo | 36 |
| Figura 15 | Zona de estudio del proyecto | 47 |
| Figura 16 | Vista lateral del proyecto | 48 |
| Figura 17 | Ejes del modelo estructural. | 49 |
| Figura 18 | Pórtico principal en los ejes A, B, D, E y F | 50 |
| Figura 19 | Pórtico principal en el eje C | 50 |
| Figura 20 | Armadura Principal, en pulgadas | 51 |
| Figura 21 | Armadura Secundaria, en pulgadas | 51 |
| Figura 22 | Viga Principal, en Pulgadas | 52 |
| Figura 23 | Viga Secundaria, en Pulgadas | 52 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 24 | Sección W8x24, en Pulgadas | 53 |
| Figura 25 | Propiedades Mecánicas del Acero Grado 36 y del FRP | 54 |
| Figura 26 | Modelo Estructural | 55 |
| Figura 27 | Mapa Elotico del Perú | 57 |
| Figura 28 | Zonas sísmicas. Fuente: NTP E.030 – 2018 | 58 |
| Figura 29 | Fuerza axial en la estructura con cubierta metálica | 60 |
| Figura 30 | Fuerza axial en la estructura con FRP | 60 |
| Figura 31 | Fuerza torsional en la estructura con cubierta metálica | 61 |
| Figura 32 | Fuerza torsional en la estructura con FRP | 61 |
| Figura 33 | Momento en la estructura con cubierta metálica | 62 |
| Figura 34 | Momento en la estructura con FRP | 62 |
| Figura 35 | Espectro de Pseudo aceleraciones X - Y | 70 |
| Figura 36 | Espectro de Pseudo aceleraciones introducido en SAP2000 | 72 |
| Figura 37 | Desplazamiento de techo en mm Eje A de la estructura patrón | 71 |
| Figura 38 | Desplazamiento de techo en mm Eje B de la estructura patrón | 71 |
| Figura 39 | Desplazamiento de techo en mm Eje C de la estructura patrón | 72 |
| Figura 40 | Desplazamiento de techo en mm Eje D de la estructura patrón | 72 |
| Figura 41 | Desplazamiento de techo en mm Eje E de la estructura patrón | 72 |
| Figura 42 | Desplazamiento de techo en mm Eje F de la estructura patrón | 73 |
| Figura 43 | Desplazamiento de techo en mm Eje A de la estructura con FRP | 73 |
| Figura 44 | Desplazamiento de techo en mm Eje B de la estructura con FRP | 73 |
| Figura 45 | Desplazamiento de techo en mm Eje C de la estructura con FRP | 74 |
| Figura 46 | Desplazamiento de techo en mm Eje D de la estructura con FRP | 74 |
| Figura 47 | Desplazamiento de techo en mm Eje E de la estructura con FRP | 74 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 48 | Desplazamiento de techo en mm Eje F de la estructura con FRP | 75 |
| Figura 49 | Derivas con modelo Patrón. | 77 |
| Figura 50 | Derivas modelo con FRP | 78 |
| Figura 51 | Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta con FRP | 79 |
| Figura 52 | Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta metálica | 79 |
| Figura 53 | Costo de ejecución de la cubierta con FRP | 80 |
| Figura 54 | Costo de la ejecución de la cubierta metálica | 80 |

Índice de Tablas

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 1 | Ventajas y desventajas resinas epoxy. | 15 |
| Tabla 2 | Ventajas y desventajas resinas de poliéster | 15 |
| Tabla 3 | Ventajas y desventajas resinas viniléster | 15 |
| Tabla 4 | Propiedades de matrices termoestables | 16 |
| Tabla 5 | Propiedades de matrices termoplásticas | 17 |
| Tabla 6 | Propiedades de los distintos tipos de fibra | 19 |
| Tabla 7 | Resumen de principales características del compuesto | 24 |
| Tabla 8 | Composición química del acero A36 para formas | 31 |
| Tabla 9 | Composición química del acero A36 \leq 15 pulg | 31 |
| Tabla 10 | Composición química del acero A36 $>$ 15 pulg | 32 |
| Tabla 11 | Propiedades físicas para el acero A36. | 32 |
| Tabla 12 | Técnicas e instrumentos | 44 |
| Tabla 13 | Cargas de Diseño | 57 |
| Tabla 14 | Fuerzas axiales | 63 |
| Tabla 15 | Fuerzas de torsión | 63 |
| Tabla 16 | Momentos flectores | 63 |
| Tabla 17 | Periodo y frecuencia de vibración. | 64 |
| Tabla 18 | Análisis sísmico | 64 |
| Tabla 19 | Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección | 66 |
| Tabla 20 | Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección | 66 |
| Tabla 21 | Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección | 68 |
| Tabla 22 | Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección | 68 |
| Tabla 23 | Cortantes basales calculados en el software SAP2000 – Modelo | 65 |

| | | |
|----------|--|----|
| Tabla 24 | Cortantes basales calculados en el software | 65 |
| Tabla 25 | Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP. | 65 |
| Tabla 26 | Periodos n para el cálculo del espectro E030 | 71 |
| Tabla 27 | Fuerzas cortantes dinámicas en la base – Modelo Patrón | 72 |
| Tabla 28 | Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP | 73 |
| Tabla 29 | Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP | 73 |
| Tabla 30 | Combinación de cargas y envolvente | 74 |
| Tabla 31 | Promedio de desplazamientos – modelo Patrón | 80 |
| Tabla 32 | Promedio de desplazamientos – modelo FRP | 80 |
| Tabla 33 | Desplazamientos Inelásticos | 81 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal el comparar la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín 2020. Tuvo como metodología de investigación el tipo aplicada y diseño experimental. La población de estudio fue el análisis comparativo de dos cubiertas una de acero estructural y la otra de material de plásticos reforzadas con fibras. La muestra de estudio fue de tipo no probabilístico. El procedimiento del siguiente trabajo fue a través de fichas técnicas, hojas de cálculos Excel, Project y SAP 2000, de ambos materiales como la estructura metálica y la estructura de FRP para compararlos y ver los beneficios y carencias. Nuestros principales resultados fueron: derivas máximas de 0.01159 en X, 0.003078 en Y, cortante basal estática de 6.33 Ton (X) y de 5.96 Ton (Y). Se concluyó que la comparación entre la estructura metálica y FRP tiene buenos resultados para el FRP en los indicadores “análisis estructural”, “análisis sísmico” y “proceso constructivo”, pero para el indicador de “costos” los mejores resultados nos das para la estructura con cubierta metálica. Esto nos indicaría la opción más óptima es construir una estructura con cubierta de FRP.

Palabras clave: Distorsión, cortante basal, costos y proceso constructivo.

ABSTRACT

The main objective of the present research work was to compare the metallic structure vs FRP in the improvement of the roof of the volvo WWTP, Lurín 2020. Its research methodology was the applied type and quasi-experimental design. The study population was the comparative analysis of two covers, one made of structural steel and the other made of fiber-reinforced plastic material. The study sample was non-probabilistic. The procedure of the following work was through questionnaires, technical sheets, spreadsheets, Excel, Project and SAP 2000, of both materials such as the metallic structure and the FRP structure to compare them and see the benefits and shortcomings. Our main results were: maximum drifts of 0.01159 in X, 0.003078 in Y, static basal shear of 6.33 Ton (X) and 5.96 Ton (Y). It was concluded that the comparison between the metallic structure and FRP has good results for the FRP in the indicators "structural analysis", "seismic analysis" and "construction process", but for the indicator of "costs" the best results give us for the structure with metal cover. This would indicate the most optimal option is to build a structure with an FRP cover. Keywords

Keywords: Distortion, basal shear, costs and construction process

I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática. A nivel mundial los problemas por corrosiones que afectan a los metales por efectos del ambiente húmedo generan grandes pérdidas económicas por mantenimiento, reforzamiento y reemplazo de las estructuras metálicas. “La corrosión en países altamente industrializados indica que se gastan aproximadamente \$ 50-100 per cápita anualmente en corrosión y su prevención. Las consecuencias de la corrosión pueden ser catastróficas no solo para estructuras metálicas, edificios, puentes, barcos, aviones, etc., sino también para la vida de las personas.” (Rosario y Yácono, 2003, “La corrosión, su tradición y alcances”, párr. 5). El Perú no es ajeno a este problema su creciente industrialización en zonas ubicadas con alto contenido de humedad como son las zonas alto-andinas, la selva y especialmente en las zonas costeras, es donde se presenta alta irradiación solar y atmósferas salinas donde las estructuras se encuentra en este entorno agresivo. La falta de versatilidad en el uso de diversos materiales de construcción, genera que la infraestructura de las industrias sea construida de acero o concreto armado, siendo el primero el más vulnerable a las sales que son transportadas desde el océano que reaccionan en las superficies de la estructura metálica generando un ataque corrosivo reduciendo su resistencia mecánica, posteriormente presentaran fatiga lo cual eventualmente conlleva a la rotura, de esta manera se reduce la expectativa de vida útil y se tendrá que realizar en un tiempo prematuro el cambio total de la estructura. Es así como le ocurre a la cubierta de estructura metálica de la PTAR empresa Volvo en su planta con sede Lurín, este se ve afectada por la corrosión, generando que la estructura metálica se deteriore, y eso conlleve a una falla estructural ante un evento sísmico, poniendo en riesgo la vida del personal que transitan por debajo de la estructura, para mitigar ello se realiza constantes mantenimientos que derivan en tiempos muertos en dicha área, que sumados generan pérdidas económicas. Es por ello que nos planteamos el uso de otro material como lo es el FRP (fibre reinforced polymers) para la cubierta de la ptar y que esté cumplan con parámetros de diseño con el fin de volverlo factible y sostenible, sin antes realizar un análisis comparativo entre las estructuras con dichos materiales. Es por ello que nos formulamos el problema general de la siguiente interrogante ¿Cómo será la comparación de la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de la cubierta de la ptar volvo, Lurín

- 2020?, con ello se tendrá en claro la problemática que se ha de abordar, asimismo nos planteamos los siguientes problemas específicos que se encargaran en detallar nuestro problema general. ¿Cómo será la comparación del análisis estructural entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020?, ¿Cómo será la comparación del análisis sísmico entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020?, ¿Cómo será la comparación entre el proceso constructivo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020?, ¿Cómo será la comparación entre el costo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020?. El presente proyecto de investigación contribuirá como contribución técnica, en la construcción y en la sociedad, a través de realizar un análisis comparativo entre la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR, teniendo como caso de estudio la planta industrial de la empresa Volvo sede Lurín. En esta investigación alcanzamos formar la siguiente justificación como un compuesto de definiciones y conocimientos, referente a la problemática que se realiza en nuestro trabajo de investigación, del cual se adquiere a través de métodos científicos, en el cual su aplicación se identifica a medidas implicatorias de conocimientos referente a la realidad observada, del cual se obtiene criterios previos para ofrecer un valor teórico y que el conocimiento sea de relevancia. El siguiente trabajo de investigación se justifica en lo social ya que una vez se desarrolle y se ejecute, se tendrá mayor seguridad para los trabajadores ya que al no haber corrosión de las estructuras de FRP no existirá colapso por deterioro. En esta investigación se aplicará conocimientos adquiridos con el fin de dar solución a la cubierta metálica de la PTAR sede Lurín que se ve afectada por la acción de la corrosión, por ello se realiza un análisis comparativo con un material diferente moderno como lo es de FRP que es idóneo para soportar agentes agresivos como lo es la corrosión. Por ello, se manifiesta el valor teórico y la utilidad metodológica de los antecedentes para ofrecer una mejor comprensión a la problemática que se nos presenta. El próximo proyecto de investigación tiene como objetivo general: Comparar la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín 2020, también cuenta con los siguientes objetivos específicos que son Determinar cómo será la comparación del análisis estructural entre la

estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020. Determinar cómo será la comparación del análisis sísmico entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020. Determinar cómo será la comparación entre el proceso constructivo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020. Determinar cómo será la comparación entre el costo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurin-2020. Para ello nos planteamos la hipótesis general: La estructura de FRP muestra ser más recomendable que la estructura metálica en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín - 2020. Así como las hipótesis específicas: La cubierta con FRP tiene menores esfuerzos en sus elementos estructurales a comparación de la cubierta metálica. La cubierta con FRP cumple con los límites de análisis sísmico en comparación con la cubierta metálica. El proceso constructivo en estructura con FRP tiene un menor tiempo de construcción que la estructura metálica, mejorando el tiempo de ejecución de la cubierta del PTAR. El costo de inversión de instalación de una estructura de FRP es mayor que el de una estructura metálica.

II. MARCO TEÓRICO

Para el siguiente trabajo de investigación, se presenta antecedentes basado en la recopilación, organización y análisis de información existente. Antecedentes Nacionales: Cieza y Lazarte , (2018) de tesis para obtener el título de ingeniero civil “Análisis del diseño sísmico estructural del techo metálico de la losa multideportiva de Aija, Ancash - 2018” nos menciona que tiene como objetivo el análisis de la cubierta existente de la losa multideportiva de Aija-Ancash y compararla con la existente en expediente técnico con fines de evaluación de la estructura si esta cumple con los requisitos técnicos mínimos de la normas de estructuras del RNE, que ante un posible suceso sísmico tenga un comportamiento satisfactorio y cumplir con los principios y filosofías de la norma sismorresistente E.030. La población consta de un diseño sísmico estructural del techo metálico, el tamaño de la muestra para este estudio será del mismo tamaño de población, es decir, un diseño sísmico estructural del panel de techo de metal., el autor concluye que las normas NTE E.030 y NTE E.090 usadas con el programa SAP 2000 para obtener la resistencia de la estructura existente es apto, porque se encuentra dentro de los rangos permisibles. Según Larico, (2015), en su tesis “Análisis y diseño en acero de una nave industrial con dos puentes grúa” para obtener el título profesional de ingeniero civil, desarrollada en la Universidad nacional de San Agustín de Arequipa, El objetivo es el diseño integral de un almacén industrial con un marco de metal que tiene dos grúas puente con una capacidad de 60 toneladas, destinado al mantenimiento de camiones pesados CAT 797; construido sobre estructuras que resisten a los momentos en la dirección de los ingresos de los camiones y a la inserción concéntrica en la otra dirección; con un techo de vigas llenas de almas, de sus resultados obtenidos con el programa Sap2000, se obtuvo de los 10 primeros modos de vibración, en los que se observó que la mayor cantidad de masa se concentró en los primeros modos de vibración en ambos casos de traslación, en los que se concluyó que se usaron varillas de acero liso de 1 "para reforzar la estructura del techo, idealizando un diagrama semirrígido, de modo que la estructura del techo se comporta como una estructura única., Según, Gabriel (2016) en su tesis “ Diseño de un proceso de fabricación de estructura Metálica en la empresa metal mecánica Fixer Servicios Generales SAC” esta tesis fue desarrollado en la Universidad Nacional del Centro - Huancayo, para obtener

el título de Ingeniero mecánico, como objetivo tuvo diseñar el proceso de hacer un marco de metal. Utilizo un método de investigación inductivo, tipo de investigación básica, a un nivel descriptivo. Obteniendo como resultados la mejora en el planeamiento de materiales, así como el uso de los inventarios reducirá los tiempos en las operaciones, en conclusión, se analizó las operaciones del proceso de fabricación de estructuras metálicas y cuál es la secuencia que se debe continuar hasta la obtención del producto final. Según, Bendezú, (2002), en su tesis “Los plásticos reforzados en fibra de vidrio (prfv), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional” con el fin de obtener el título de ingeniero civil, desarrollada en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, su tesis tiene como objetivo ser una contribución técnica y práctica de dicho conocimiento para los profesionales, sobre las resinas y su importancia en la ingeniería de tratamientos anticorrosivos, para los cuales se utiliza la metodología aplicada, con un nivel descriptivo explicativo, que obtuvo como resultado sobre normativas de ensayos y procedimientos de inspección, que la estructuras de GFRP hechas con resina viniléster, tienen ventajas sobre comparativas con otros materiales. , tanto en términos técnicos como en propiedades (mecánica, flexión, tracción, compresión, torsión, elasticidad y aspectos económicos), concluyo que para el cálculo estructural se debe dimensionar con criterio de resistencia. Según, Vargas, (2017) en su tesis “Diseño estructural de nave industrial metálica para mejoramiento de almacenes en Av. argentina, callao-2017”. Para obtener su título de ingeniero civil nos dice que su objetivo fue la realización el modelamiento de la estructura metálica para un taller de almacén, cuyo diseño se basa en las normas peruanas y extranjeras para el diseño de campo, realización de datos sobre habilidades técnicas para las características del material utilizado, aplico los estudios realizados y procedió a realizar el diseño estructural de la nave metálica y está a su vez cumple con la norma de la construcción, el autor realizo un modelamiento el cual optimizo con un segundo agregándole una variante de puente grúa, el autor concluyo que su diseño estructural es la solución para el mejoramiento de los almacenes.

Así mismo contamos con antecedentes internacionales, Ocampo, (2010) en su tesis para optar el título de magíster en ciencias de la ingeniería titulada “Predicción de vida útil de puentes reforzados con FRP sujetos a esfuerzos de fatiga”. En su

proyecto de investigación, el autor tenía el objetivo principal de esta investigación, mostrar la técnica para cuantificar el deterioro de la resistencia que muestra el sistema de refuerzo FRP contra cargas cíclicas, y luego estimar la duración de estos refuerzos en puentes que usan en carreteras de hormigón armado, a partir de un estudio de fiabilidad estructural. Los resultados de las simulaciones realizadas con elementos finitos se presentan y comparan con la información que ya está disponible para determinar el estado existente del área reforzada del Puente Centenario. El autor concluye que se deben realizar más pruebas de laboratorio, cambiando el entorno de prueba, a fin de lograr parámetros estadísticos suficientes para lograr valores medios y desviaciones estándar de áreas y funciones de FRP efectivas, para incluirlas en los estándares de construcción reforzada con FRP. Según, Cruz, Figueroa & Hernández (2012) en su tesis que lleva por título “Estructuración, Análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el método LRFD” en la Universidad de El Salvador. Tiene como objetivo principal llevar a cabo un proceso adecuado diseño de estructura metálica en techos, según su informe, primero se debe comprender mejor el desarrollo de los diferentes materiales que componen el techo y la estructura que lo sostiene. También nos menciona que es muy importante estudiar diferentes métodos de diseño estructural, incluida la forma en que se presentan actualmente, y así hacer un diseño de techo que proporcione resistencia estructural y una mejor funcionalidad. Con el tiempo, tendrán menos fallas que las obtenidas al aplicar los procesos de diseños inadecuados y repetitivos que actualmente son comunes. También menciona que es necesario conocer la resistencia al deslizamiento y al agrietamiento, de los materiales que componen la estructura del techo. Concluye que los procesos de conceptualización se omiten en su mayoría y señala que, como la ejecución, es importante unir la fase conceptual del diseño, con la cual tendremos una visión más amplia del sistema estructural. Y, por lo tanto, tienen coherencia con la conexión de los subsistemas que lo componen. También señala que es esencial hacer un cálculo adecuado del proyecto, así como el valor de los costos que serán favorables si se realiza el diseño apropiado. Morales, (2008), en su tesis “Fibra de vidrio (FRP), pruebas y aplicación” para optar el título profesional de ingeniero mecánico, desarrollada en el Instituto Politécnico Nacional unidad Culhuacán - México, tiene

como objetivo, presentar pruebas, demostrar el comportamiento de la fibra de vidrio en la intemperie y su respuesta a las condiciones climatológicas y justificar su uso como material de construcción. Se obtuvo como resultado, las fibras son muy buenas a condiciones adversas, con varias inmersiones y exposición a altas temperatura, que han sido diseñadas para el captador durante mucho tiempo, ya que son menos susceptibles a la humedad. Y concluye que para propósitos del proyecto es bueno ya que la vida útil del material aumenta antes de que se rompa o pierda sus propiedades, como rigidez, elasticidad y dureza, etc. Chapula, (2014), en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil "Procedimiento constructivo con estructuras metálicas", en la facultad de Ingeniería, división de Ingenierías Civil y Geomántica de la Universidad Autónoma de México. donde su trabajo tiene como objetivo actualizar las notas sobre el tema, la programación y la construcción de estructuras metálicas que responden a la etapa de evolución en el método de fabricación de perfiles de acero, está tan controlado y mecanizado que sus propiedades físicas que son casi invariables entre piezas y otras, es muy resistente en esfuerzos de todo tipo, como compresión por flexión, compresión, tijeras y torsión, a partir de los cuales se concluye que es un material homogéneo, cuyas propiedades se pueden determinar con precisión. La distribución de tensiones en la viga de acero se puede determinar con precisión mediante análisis estructural. Su módulo de elasticidad es bien conocido y es constante, tanto para tensión como para compresión, dentro de los límites de trabajo.

Bases teóricas referente al proyecto de investigación.

Estructura

"Este es un conjunto de elementos que reciben cargas externas para resistirlos internamente y transferirlos a soportes, donde el piso es el último que recibe todos los efectos causados por estas fuerzas. El diseño tendrá una forma y dimensiones, consistentes en un material capaz de resistir (concreto, madera, acero, etc.), y tendrá en cuenta la presencia de conexiones entre los diversos elementos constitutivos." (Giordani y Leone, 2016, p.2)

Material FRP

El material FRP para su abreviatura en inglés es (Fiber Reinforced Polymeric), es decir Poliméricos Reforzados con Fibras, es un material compuesto. El material contiene principalmente fibras muy fuertes incrustadas en una matriz de resina polimérica. Las fibras proporcionan resistencia y rigidez para soportar la carga aplicada, mientras que la matriz polimérica (que generalmente está hecha de resinas epoxi o de poliéster) sirve como un compuesto para proteger las fibras.

Las funciones de la matriz son las siguientes:

- Conecta las fibras
- Transferencia de tensiones a las fibras
- Proteja su superficie de daños durante el procesamiento
- Extender las fibras y mantenerlas alejadas

Para mantener su estabilidad en el tiempo, debe ser química y térmicamente compatible con las fibras. Debe destacarse su importancia en varios aspectos del comportamiento global.

- Resistencia a ambientes corrosivos.
- Afecta el mecanismo de fallo.
- El control global de la tensión-deformación.

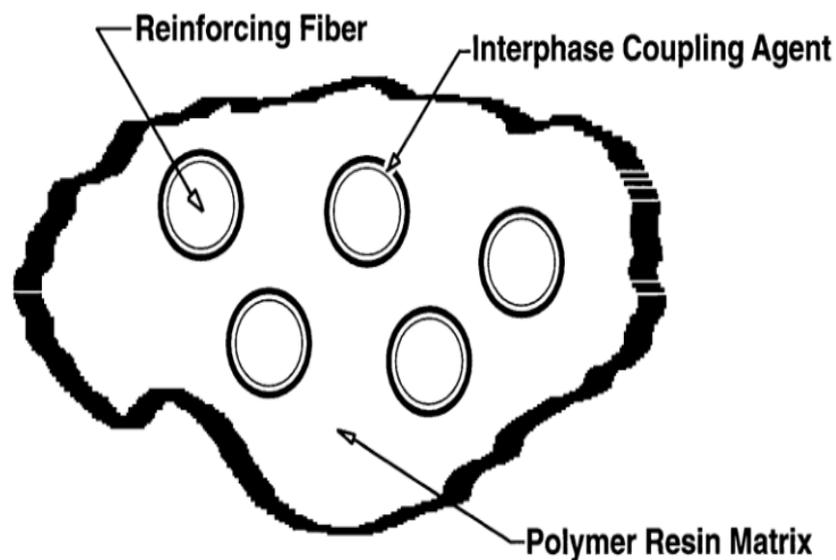


Figura 1. Estructura del compuesto a nivel micro-mecánico (ACI 440R-96 1996)

Proceso de Fabricación

Tipos de Fabricación

Moldeo por Rociado:

Consiste en la aplicación simultánea de corte de resina de poliéster y fibra de vidrio con dispositivos de moldeo por proyección. Corte la planta de fibra de vidrio en trozos de 20 a 50 mm de largo, agregue la resina y el catalizador a la pistola y rocíe la mezcla de fibra de vidrio sobre el molde.

El moldeo por contacto:

Es el método de fabricación más utilizado y se considera el método principal utilizado en la fabricación de productos de fibra de vidrio. Usualmente se usa para procesos de producción relativamente cortos, por lo tanto, se considera un proceso discontinuo. Es el único método de producción que aprovecha al máximo las propiedades principales de la resina de poliéster, a saber, el hecho de que la resina se fija a temperatura ambiente y sin presión. Con este método, se pueden hacer objetos grandes de una pieza de plástico moldeado.

Artesanal (Hand lay-up):

Este método es el método más antiguo y sencillo para producir hojas de FRP. Las inversiones de capital en este proceso son relativamente bajas. La parte más cara y avanzada es una pistola de resina, pero algunos fabricantes prefieren verter y extender la resina en moldes en lugar de usar el aerosol. Las fibras se colocan en el molde donde reciben resina adicional para mejorar el secado y obtener un molde más útil. Después del curado, el compuesto se cepilla, escobillado y enjuaga para eliminar el aire atrapado y luego se almacena o aplica.

Pultrusión:

Este proceso tiene la gran ventaja de ser continuo y consiste en obtener elementos plásticos reforzados.

El proceso comienza cuando la mecha de fibra de vidrio pasa a través de un equipo responsable de envolver la mecha, luego pasa a la etapa de impregnación en un tanque donde la fibra se sumerge en un baño de resina, que tiene algún tipo de

rodillos responsables para consolidar la mezcla, que promueve la humedad en la fibra. Luego viene el paso de preformado, donde la mezcla se pasa a través de una guía de lámina de metal o a través de agujeros anulares, dependiendo de si desea formar esquinas o barras, respectivamente. En última instancia, los cabezales de tracción siempre sacan el perfil hacia la sierra. Finalmente, los perfiles se cortan a la longitud deseada.

- 1.Preformado a partir de fibras de refuerzo.
- 2.Cubo para impregnación de fibra de vidrio con resina.
- 3.Molde calentado.
- 4.Mecanismo de tracción de perfil polimerizado.
- 5.Sierra

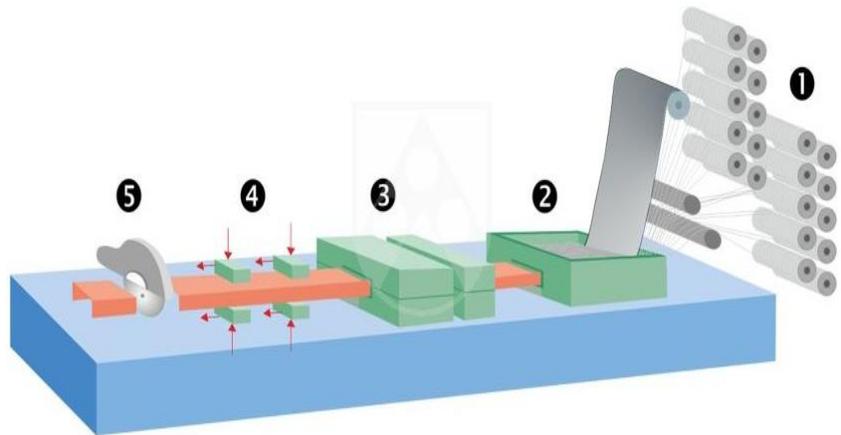


Figura 2. Esquema de fabricación de barras por pultrusión (Ram, 2008)



Figura 3. Planta de fabricación de láminas por pultrusión

Las resinas más utilizadas para el proceso son los ésteres epoxi o vinílico.

Entre los factores que afectan la producción de FRP, la temperatura y la humedad son particularmente importantes cuando se pulveriza resina sobre las fibras. Por ejemplo, en el caso de fluctuaciones de temperatura del orden de 10 ° C, pueden

conducir al endurecimiento de la resina hasta el doble de lo esperado originalmente. (Tibbetts, 2008).

Las propiedades mecánicas de los elementos fabricados por FRP variarán dependiendo de la combinación y las proporciones de los materiales, ya que el número de combinaciones entre fibra y resina es grande.

Materiales para la Fabricación

Matriz Poliméricas, Resinas

La matriz polimérica puede considerarse como un componente estructural y un componente de protección de la fibra.

Usamos el término "resina" para referirnos al polímero en el proceso de fabricación, después de que el polímero haya curado, nos referimos a él como una matriz. (Boletín de Fibra 40 2007).

Las resinas tienen la función de transferir las tensiones ejercidas en el ensamblaje a las fibras, aunque solo una pequeña parte de la tensión es soportada por la resistencia de la matriz de resina.

Las propiedades que debe tener la resina son:

- Tener un módulo elástico menor que el de la fibra.
- Tiene que tener la propiedad de ser dúctil
- El volumen de la resina en relación con la cantidad total debe estar entre 30 y 60%
El factor de adhesión entre los binomios de la matriz de fibra es muy importante. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la respuesta de extracción. La razón es que la unión correcta promueve la transferencia de esfuerzo. (Benavent Serra 2012)

Hay dos tipos de resinas que se usan comúnmente para fabricar perfiles de GRP:

- Resinas termoestables
- Resinas termoplásticas.

Resinas termoendurecidas o termoestables:

Los termoestables son materiales poliméricos que se endurecen irreversiblemente por la acción del calor o endurecedores adecuados

Estos polímeros tienen fuertes enlaces entre y dentro de las moléculas y desarrollan una estructura de red tridimensional que los forma. Cuando se calientan después del curado, no se ablandan ni retienen su forma hasta que comienzan a descomponerse a altas temperaturas. Esta propiedad de no derretirse o ablandarse a medida que aumenta la temperatura significa que tienen buenas propiedades a alta temperatura. Además de esta propiedad, hay otras características que presenta, que incluyen:

- Alta resistencia química
- Rigidez
- Dureza superficial
- Buena estabilidad dimensional

Los polímeros termoestables más utilizados para la producción de elementos de GFRP son las resinas de poliéster, epoxi y éster de vinilo.

Resinas epoxy:

Tabla 1. *Ventajas y desventajas resinas epoxy.*

| Ventajas | Desventajas |
|---|-------------------------|
| Altas prestaciones mecánicas | Alto coste |
| Fácil procesado | Largo periodo de curado |
| Baja retracción durante el curado | |
| Buena adherencia a las fibras | |
| Alta resistencia a la corrosión | |
| La resina menos afectada por el agua y el calor | |

Fuente: elaboración propia

Resinas de poliéster

Tabla 2. *Ventajas y desventajas resinas de poliéster.*

| Ventajas | Desventajas |
|---------------------------------|----------------------------|
| Alta resistencia a la corrosión | Alto volumen de retracción |

Fuente: elaboración propia

Las resinas Viniléster son una combinación de las dos anteriores

Tabla 3. *Ventajas y desventajas resinas viniléster.*

| Ventajas | Desventajas |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Alta resistencia química | Retracción más alta que el epoxy |
| Alta resistencia a la tracción | |
| Rápido curado | |
| Resistentes a los ácidos y alcalis | |

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. *Propiedades de matrices termoestables*

| Propiedades | Matriz | | |
|--|-----------|-----------|------------|
| | Poliéster | Epoxi | Vinilester |
| Densidad (Kg/m ³) | 1200-1400 | 1200-1400 | 1150-1350 |
| R. tracción (MPa) | 34,5-104 | 55-130 | 73-81 |
| Módulo longitudinal (GPa) | 2,1-3,45 | 2,75-4,1 | 3,0-3,5 |
| Coefficiente de Poisson | 0,35-0,39 | 0,38-0,40 | 0,36-0,39 |
| Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ /°C) | 55-100 | 45-65 | 50-75 |
| Contenido de humedad (%) | 0,15-0,6 | 0,08-0,15 | 0,14-0,30 |

Fuente: elaboración propia

Resinas termoplásticas:

Las resinas termoplásticas se ablandan del estado sólido antes del trabajo en caliente y luego vuelven a su estado una vez que se han enfriado por completo. Los termoplásticos no experimentan transformación química durante este proceso, es decir, no curan. Tienen una alta viscosidad cuando se calientan y son difíciles de procesar. Se debe prestar especial atención a mejorar el contacto entre las fibras y la matriz.

Las resinas termoplásticas adquieren su resistencia y rigidez debido a las propiedades de las unidades de monómero y su muy alto peso molecular. Existen diferentes tipos de matrices termoplásticas, PEEK, poliéster éter cetona, es más común debido a su alto rendimiento. Tiene una alta resistencia, una muy baja proporción de absorción de agua (aproximadamente 0.5% de su peso) a temperatura ambiente. Las resinas PPS, sulfuro de polifenileno, tienen muy buena resistencia química. Y las resinas PSUL, la polisulfona, son termoplásticas con

deformación severa a la falla y excelente estabilidad en condiciones cálidas y húmedas. (Iborra 2009).

La siguiente tabla muestra las propiedades de los termoplásticos mencionados.

Tabla 5. *Propiedades de matrices termoplásticas*

| Propiedades | Matriz | | |
|--|--------|------|------|
| | PEEK | PPS | PSUL |
| Densidad (Kg/m ³) | 1320 | 1360 | 1240 |
| R. tracción (MPa) | 100 | 82,7 | 70,3 |
| Módulo de tracción (GPa) | 3,24 | 3,30 | 2,48 |
| Deformación de tracción (%) | 50 | 5 | 75 |
| Coefficiente de Poisson | 0,40 | 0,37 | 0,37 |
| Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ /°C) | 47 | 49 | 56 |

Fuente: elaboración propia

Las fibras

Dentro del compuesto FRP utilizamos las fibras por su dureza, rigidez y ligereza. Debido a la orientación preferida de las moléculas en la dirección de la fibra y al número reducido de defectos en la fibra, las fibras son más fuertes que el material a granel del que están hechas. (Fib bulletin 40 2007)

Los requisitos estructurales y funcionales para las fibras son:

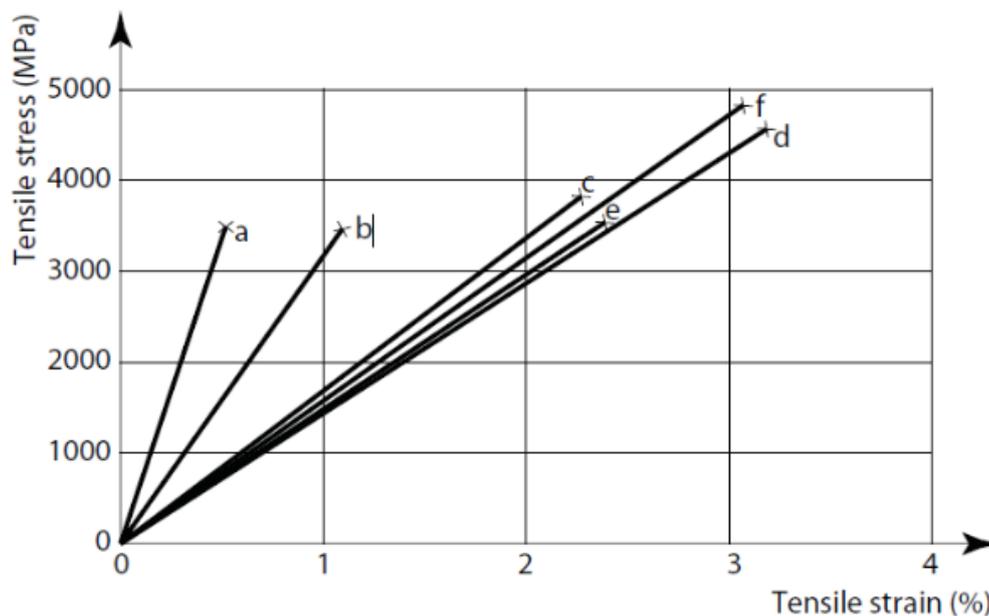
- Alta resistencia final
- Alto módulo de elasticidad para un uso eficiente como refuerzo
- Bajo cambio en la resistencia entre fibras individuales
- Alta tenacidad; durabilidad
- La estabilidad de sus propiedades durante la manipulación y fabricación
- Uniformidad del diámetro y la superficie de la fibra
- Disponibilidad en formas adecuadas
- Costos aceptables.

Las siguientes fibras se utilizan para fabricar elementos de FRP:

- Aramida
- Carbono
- Vidrio
- Basalto

Como podemos ver en la Figura 4, que muestra el diagrama de tensión-deformación de las fibras, su comportamiento es completamente elástico. Esto significa que hay una proporción directa entre voltajes y tensiones, que no muestra una rama plástica en el diagrama.

Si el material es isotrópico, las propiedades son independientes de la dirección en la que probamos esta propiedad. Este es el caso de las fibras de vidrio y basalto. Las fibras de carbono y aramida, por otro lado, son anisotrópicas, es decir, las propiedades mecánicas dependen de la dirección en la que las medimos.



Stress-strain curves of typical reinforcing fibres: a) carbon (high modulus); b) carbon (high strength); c) aramid (Kevlar 49); d) S-glass; e) E-glass; f) Basalt

Figura 4. Diagrama tensión-deformación de distintas fibras

Las características principales de los diferentes tipos de fibras y matrices de polímeros utilizadas para realizar FRP se analizan a continuación. Los valores finales de cada material son determinados por cada fabricante. Sin embargo, los

valores en las siguientes tablas del documento se pueden usar como valores predeterminados. (FIB Bulletin 40).

Tabla 6. *Propiedades de los distintos tipos de fibra*

| Fibre Type | Density | Tensile strength | Young modulus | Ultimate tensile strain | Thermal expansion coefficient | Poisson's coefficient |
|------------------------|----------------------|------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| | (kg/m ³) | (MPa) | (GPa) | (%) | (10 ⁻⁶ /°C) | |
| E-glass | 2500 | 3450 | 72.4 | 2.4 | 5 | 0.22 |
| S-glass | 2500 | 4580 | 85.5 | 3.3 | 2.9 | 0.22 |
| Alkali resistant glass | 2270 | 1800-3500 | 70-76 | 2.0-3.0 | - | - |
| ECR | 2620 | 3500 | 80.5 | 4.6 | 6 | 0.22 |
| Carbon (high modulus) | 1950 | 2500-4000 | 350-650 | 0.5 | -1.2...-0.1 | 0.20 |
| Carbon (high strength) | 1750 | 3500 | 240 | 1.1 | -0.6...-0.2 | 0.20 |
| Aramid (Kevlar 29) | 1440 | 2760 | 62 | 4.4 | -2.0 longitudinal 59 radial | 0.35 |
| Aramid (Kevlar 49) | 1440 | 3620 | 124 | 2.2 | -2.0 longitudinal 59 radial | 0.35 |
| Aramid (Kevlar 149) | 1440 | 3450 | 175 | 1.4 | -2.0 longitudinal 59 radial | 0.35 |
| Aramid (Technora H) | 1390 | 3000 | 70 | 4.4 | -6.0 longitudinal 59 radial | 0.35 |
| Aramid (SVM) | 1430 | 3800-4200 | 130 | 3.5 | - | - |
| Basalt (Albarrie) | 2800 | 4840 | 89 | 3.1 | 8 | - |

Fuente: elaboración propia

Fibras de vidrio.

La fibra de vidrio es la fibra más utilizada para la producción de compuestos de matriz polimérica y también la más barata.

Las características principales de las varillas de fibra de vidrio son

- Buena estabilidad dimensional
- Buena relación resistencia / peso
- Buena resistencia al calor
- Resistencia a la corrosión
- Buena resistencia al frío

- Propiedades de aislamiento eléctrico

Los tipos de fibra de vidrio utilizados en la fabricación de materiales compuestos incluyen:

Vidrios E (eléctricos)

Son los más baratos. Es un vidrio silicato bórico de calcio y aluminio. La resistencia a la tracción de las fibras disminuye a altas temperaturas. Sin embargo, puede considerarse constante para el rango de temperatura utilizado.

Sufre la disminución de la corrosión química con el tiempo y bajo cargas duraderas.

- Módulo de elasticidad de 72,3 GPa
- Resistencia a tracción 3,44 GPa

Ampliamente utilizado en la producción continua de fibra.

Vidrios S (alta resistencia)

Tiene mayor costo que los vidrios tipo E.

- Utilización principalmente en aplicaciones militares y aeroespaciales.
- Relación resistencia peso más alta.
- Módulo de elasticidad de 85,4 GPa
- Resistencia a tracción 4,48 GPa
- Diámetros de las fibras entre 8 y 15 μm

Vidrios Alkali-resistentes (AR).

El zirconio se ha agregado para resistir mejor los ataques de cemento alcalino (valor de pH alrededor de 13), por lo tanto, es más costoso.

La estructura tridimensional del óxido producido determina la resistencia y el módulo elástico. Las fibras de vidrio tienen una propiedad isotrópica, por lo que el módulo de Young a lo largo del eje de la fibra es el mismo que el módulo transversal al núcleo, que es un resultado directo de la estructura tridimensional de la red de vidrio. (Fib bulletin 40, 2007).

Durante la producción, las fibras de vidrio se recubren con aglutinantes, que forman una capa flexible en la interfaz, mejoran la resistencia de la unión y reducen el grado de daño del material.

Fibra de carbono.

Debe hacerse una distinción entre las fibras de carbono y las fibras de grafito, aunque son fibras de carbono, existen algunas diferencias significativas entre ellas, especialmente con respecto a su estructura modular. Por lo tanto, mientras que los átomos del grafito están en los planos cristalográficos paralelos de los hexágonos regulares, mientras que en las fibras de carbono el enlace entre las capas es débil, tiene una disposición bidimensional.

El grafito tiene un módulo de elasticidad más alto que el carbono. Las fibras de carbono tienen alta resistencia, rigidez y generalmente aumentan en módulo elástico, resistencia a la tracción y alargamiento a la tracción. Son altamente resistentes a factores ambientales agresivos. Las fibras de carbono exhiben un comportamiento de rotura elástica.

El principal inconveniente de este tipo de fibra es el alto costo, que es 10-30 veces más caro que las fibras de vidrio de tipo E.

Las fibras de carbono tienen un alto módulo de elasticidad y alta resistencia.

Por lo tanto, el módulo de elasticidad de las fibras de carbono depende del grado de orientación, que varía mucho según las condiciones y el proceso de fabricación.

Fibra de aramida.

Las características más notables de estas fibras son su alta resistencia y módulo elástico debido a la alineación de la cadena de polímero con el eje de la fibra durante la producción, el hilado y el tensado. (Iborra 2009)

Aramidas es un nombre colectivo para un grupo de fibras orgánicas fabricadas por diferentes fabricantes, quizás las más conocidas son las fabricadas por DuPont y conocidas como Kevlar, Kevlar 29 (para protección balística, cuerdas y cables), Kevlar 49 (utilizado para refuerzo) plásticos en juntas para aplicaciones aeroespaciales, automotrices marítimas y otras aplicaciones industriales) y Kevlar

149 (el módulo de elasticidad más alto de todas las fibras de árboles disponibles). Características de las fibras de Kevlar;

- Bajo la influencia de las cargas de compresión, es dúctil y absorbe una gran cantidad de energía.
- Comportamiento de tracción frágil
- Con la temperatura, la resistencia y el módulo de las fibras de Kevlar disminuyen linealmente, pero conserva más del 80% de su resistencia inicial a 180 ° C.
- La resistencia a la compresión de las fibras de Kevlar es inferior al 20% de su resistencia a la tracción.

Fibras de basalto.

Las fibras de basalto se obtienen fundiendo lava volcánica.

Tienen mejores propiedades físico-mecánicas que la fibra de vidrio, pero son considerablemente más baratas que las fibras de carbono. Los principales beneficios de las fibras de basalto son:

- Resiste al fuego
- Propiedad de insonorización y vibración.
- Resistencia a ambientes químicos agresivos.

Las temperaturas de funcionamiento de 982 ° C y los puntos de fusión de 1450 ° C lo convierten en un material para la aplicación cuando se requiere resistencia al fuego. Todavía se están realizando investigaciones en fibras de basalto como refuerzo estructural en estructuras de concreto.

Tabla 7. Resumen de principales características del compuesto FRF

| Característica | Descripción del FRP |
|-----------------------|---|
| Físicas | <p>Su aplicación es en platinas o mantas de espesores de dimensión muy reducida (desde 0.17 – 1.5 mm) respecto a sus otras dimensiones.</p> <p>Baja densidad, el peso de las bandas varía de 300 a 600 g/m², y hasta 1800 g/m² para platinas.</p> <p>Tiene pobre resistencia al fuego, debido a los polímeros que son inflamables.</p> <p>Los coeficientes de expansión térmica de las resinas utilizadas son, usualmente, mayores a los del concreto. Sin embargo la experiencia indica que esta no afecta la adherencia para pequeños cambios, tales como ±28°C.</p> <p>GFRP y AFRP son eficientes aisladores eléctricos, mientras que el CFRP es conductor, por lo cual debe precisarse alguna protección del acero que esté en contacto directo con el CFRP.</p> |
| Mecánicas | <p>Altísimas resistencias a la tracción, con esfuerzos últimos en el orden de 800 a 3000 MPa. Pobre resistencia a la compresión.</p> <p>Sus propiedades varían en cada dirección. Usualmente las fibras son unidireccionales, donde las propiedades principales se dan en la dirección longitudinal.</p> <p>Las propiedades mecánicas de la fibra seca (en bruto) son muy diferentes a la fibra compuesta, conformada además por su matriz polimérica.</p> <p>Los sistemas FRP como el carbono y la aramida no presentan flujo plástico bajo cargas sostenidas, a diferencia de las fibras de vidrio que pueden ceder en deformación bajo carga de tracción sostenida en el tiempo.</p> <p>El comportamiento del FRP en compresión no está bien establecido. El modo de falla en compresión principalmente es el pandeo de la platina o banda, variando desde el pandeo total del espécimen hasta el pandeo local de las microfibras. Diferentes ensayos han comprobado que, mientras más accesorios o restricciones al pandeo se previeron, mayor resistencia a compresión se ha obtenido.</p> |
| Durabilidad | <p>Los sistemas FRP de fibra de carbono (CFRP) han demostrado resistencia a ambientes ácidos o alcalinos.</p> <p>Los sistemas FRP de fibra de vidrio (GFRP) pueden degradar sus propiedades ante la exposición de ambientes ácidos o alcalinos en el tiempo.</p> <p>La guía ACI 440.2R (ACI, 2008) recomienda la selección de sistemas de recubrimiento protector de acuerdo a las condiciones del ambiente al que será expuesto el sistema FRP. El sistema de recubrimiento protector se hace recomendable para incrementar la resistencia del compuesto FRP frente a los efectos de la humedad, agua de mar, temperatura extrema, exposición al fuego, impacto así como a los rayos UV, inclusive al vandalismo.</p> |

Fuente: elaboración propia

Gel coat:

Es el recubrimiento o una capa de resina que tiene la función de proteger la superficie expuesta del medio. es donde se da el pigmento.

Tipos de Gel coat: Isoftálicas, ortoftálicos, con carga metálica, con resistencia química, etc.

Agentes de liberación y cierre: dado que las resinas utilizadas en plásticos reforzados tienen muy buenas propiedades adhesivas, es necesario utilizar un método para evitar que el producto del molde se adhiera permanentemente al molde en el que se fabrica. por lo tanto, se utilizan acetona de celulosa, metil celulosa, cera, silicona, etc.

Para propósitos de nuestra investigación utilizaremos GFRP (Glass-Fiber Reinforced Plastic en inglés) o plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) como material alternativo.

Aplicaciones:

Como barras de refuerzo:

Se utiliza en elementos estructurales, reemplazando el acero de refuerzo, o en columnas, columnas, placas. Donde el servicio del acero de refuerzo está limitado por las condiciones ambientales: acidez, alta exposición a cloruros, cerca de equipos especiales como imanes de resonancia y otros.

Varillas Corrugadas de Fibra de Vidrio



Características

- Varilla redonda de fibra de vidrio.
- No conducen electricidad.
- Muy resistentes.

Usos

- Estores.
- Construcción.

Notas

- Pueden fabricarse con resinas ortoftálicas, isoftálicas, viniléster o fenólicas.
- Pueden ser ignífugas, antiácidas, etc...

Figura 5. Varilla de FRP.

Perfiles preformados:

Tienen aplicaciones estructurales y no estructurales. Las aplicaciones estructurales incluyen una historia de estructuras hechas de perfiles preformados, como varios puentes para vehículos y peatones (Fig. 6), hechos reemplazando vigas o rejillas de acero estructural, así como losas de concreto. Esta tecnología data de los años 90 y aún se está desarrollando.



Figura 6. Puente peatonal con perfiles de FRP

Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los sistemas FRP varían considerablemente según su conformación específica, el material constituyente y el método de fabricación. En la dirección de la fibra, el sistema FRP exhibe típicamente un comportamiento lineal elástico hasta que falla, pero las combinaciones híbridas como el carbono y el vidrio o el carbono y la aramida exhiben un comportamiento de alargamiento de tensión monotónico similar al acero (Figura 7).

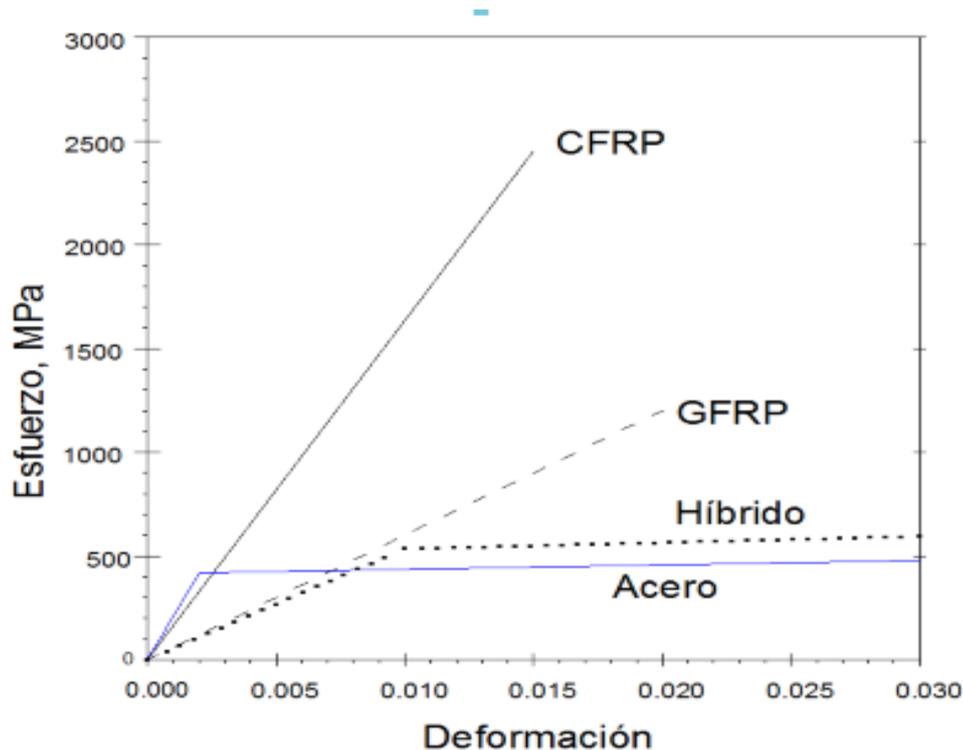


Figura 7 Curvas típicas de esfuerzo – deformación para productos FRP, comparadas con el acero de refuerzo (azul).

Los perfiles utilizados en estructuras nacen imitando a los perfiles metálicos debido a que los conceptos iniciales de aplicación siguieron el mismo camino de las estructuras metálicas, considerando el amplio conocimiento de las mismas. Es así que el comportamiento puede ser comparado con ellas.

Características del material

Es un material con excelentes propiedades mecánicas. Alta resistencia a la tracción y a la compresión, con una desviación 8 veces mayor que el acero, pero con la característica de que una vez que se retira la carga, vuelve a su estado natural. Por lo tanto, debe diseñarse de acuerdo con estas características, por un lado, aumentando la altura del perfil y, por otro lado, dependiendo del uso, se pueden aceptar altas deflexiones.

Perfiles de GFRP



Figura 8. Perfiles de GFRP

Perfiles de GRP pultruidos de resina isoftálica u otras resinas, que combinan una resistencia química óptima con una notable resistencia mecánica y una gran versatilidad. Los perfiles cumplen con las especificaciones según EN 13706 para uso donde se requiere un alto rendimiento mecánico.

Material Acero

El componente principal es el acero, que tiene hasta el 80% de toda la estructura, el acero, a su vez, es una aleación de carbono (C) y de hierro (Fe), la proporción de carbono siempre es inferior al 2%, también se agrega Ni (Ni), Cr (cromo) o Mn (manganeso). en otras combinaciones. La característica principal del acero estructural son la alta resistencia, rigidez y ductilidad que contiene sus elementos y ello hacen que sean aceptables, lo que lo hace más útil en estructuras resistentes a terremotos. La dureza del acero puede determinarse como la resistencia a la deformación plástica, lo que no conduce a una disminución en los parámetros de resistencia mecánica, que supera la mayoría; Sin mencionar que puede haber casos en los que, cuando el estado límite está unido a un espacio, debe dar la resistencia a la tracción F_u . Ambas son propiedades nominales de acero para un diseño dado.

Para Chapula (2014). El acero retiene aproximadamente el 98% de las propiedades del hierro en su forma pura, pero la adición de carbono y otros elementos metálicos y no metálicos mejora las propiedades fisicoquímicas, lo que resulta en un material dúctil, tenaz y resistente para soportar las cargas de diseño.



Figura 9 Hierro



Figura 10 Carbono

El acero estructural laminado en caliente se produce en forma de placas, barras y perfiles de varias formas.



Figura 11. Laminación en caliente

Propiedades del acero Para Orihuela y Dávila (2016), el elemento estructural de acero tiene las siguientes propiedades:

- Módulo de elasticidad (E): $2.10 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- Esfuerzo de fluencia (F_y): 2.53 Ton/cm^2
- Peso específico (δ): 7.85 kg / m^3
- Esfuerzo de fractura (F_u): 4.08 Ton/ cm^2
- Coeficiente de dilatación térmica (α): $1.2 \times 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$.
- Coeficiente de Poisson (ν): 0.3

Del acero ASTM A36, la letra A designa una familia o grupo de tipo de material, en este caso el acero, y el número 36 de la fuerza de tracción aplicada al perfil a lo largo del cual el acero comienza a fluir 36 psi (fuerza de libra por pulgada cuadrada) Es una aleación universal de acero al carbono ampliamente utilizada en todo el mundo. De los aceros al carbono, A36 es uno de los tipos más comunes, principalmente debido a su bajo costo. Proporciona excelente resistencia y resistencia para acero con bajo contenido de carbono y de aleación. El acero ASTM A36 es soldable y el laminado en caliente está diseñado para acero rectangular, cuadrado, redondo, vigas en I, en forma de U, angular y de tubo.



Figura 12. Perfiles metálicos.

Según Bermúdez (2005), dentro de los principales perfiles de acero estructural hay secciones de tipo U, L, C, T, cuadradas, redondas, etc.

La gran mayoría de las estructuras de acero son propensas a choques esporádicos, como el viento y los terremotos de cualquier dimensión, teniendo en cuenta dónde se encuentran, por lo que es muy importante implementar un sistema estructural adecuado que pueda soportar dichos eventos, teniendo un control fácil entre resistencia, rigidez y ductilidad.

Para el acero A36 la norma ASTM tiene establecido fichas técnicas que nos hablan de su composición química, propiedades mecánicas, propiedades físicas

Tabla 8. Composición química del acero A36 para formas

| | Composición química (% , ≤) para formas | | | | | |
|----------|---|------|----------------|------|------|------|
| Acero | C | Si | Mn | P | S | Cu |
| ASTM A36 | 0.26 | 0.40 | no requirement | 0.04 | 0.05 | 0.20 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Composición química del acero A36 ≤ 15 pulg

| | Composición química (% , ≤), para placas y barras de acero, ancho ≤ 380 mm (15 pulg.) | | | | | | |
|----------|---|------|----------------|------|------|------|------------------------------|
| Acero | C | Si | Mn | P | S | Cu | Espesor (d), mm (pulg.) |
| ASTM A36 | 0.26 | 0.40 | Sin requisitos | 0.04 | 0.05 | 0.20 | d ≤ 20 (0.75) |
| | 0.27 | 0.40 | 0.60-0.90 | 0.04 | 0.05 | 0.20 | 20 < d ≤ 40 (0.75 < d ≤ 1.5) |
| | 0.28 | 0.40 | 0.60-0.91 | 0.04 | 0.05 | 0.20 | 40 < d ≤ 100 (1.5 < d ≤ 4) |
| | 0.29 | 0.40 | 0.60-0.92 | 0.04 | 0.05 | 0.20 | > 100 (4) |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Composición química del acero A36 > 15 pulg

| | Composición química (% , ≤), para placas de acero, ancho > 380 mm (15 pulg.) | | | | | | |
|----------|--|-----------|----------------|------|------|------|------------------------------|
| Acero | C | Si | Mn | P | S | Cu | Espesor (d), mm (pulg.) |
| ASTM A36 | 0.25 | 0.40 | Sin requisitos | 0.03 | 0.03 | 0.20 | d ≤ 20 (0.75) |
| | 0.25 | 0.40 | 0.80-1.20 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 20 < d ≤ 40 (0.75 < d ≤ 1.5) |
| | 0.26 | 0.15-0.40 | 0.80-1.20 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 40 < d ≤ 65 (1.5 < d ≤ 2.5) |
| | 0.27 | 0.15-0.40 | 0.85-1.20 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 65 < d ≤ 100 (2.5 < d ≤ 4) |
| | 0.29 | 0.15-0.40 | 0.85-1.20 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | > 100 (4) |

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes tablas visualizaremos las propiedades mecánicas del acero A36 el cual hacemos mención del módulo de elasticidad (módulo de Young), módulo de corte, la resistencia a la tracción máxima, límite elástico, la dureza Brinell, etc

Tabla 11. Propiedades físicas para el acero A36.

| Propiedades Mecánicas | | Notas |
|---|--------------------------------|--|
| Resistencia a la tracción, MPa (psi) | 400-550 (58-80) | Placas de acero, formas y barras |
| Limite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), \geq | 250 (36) | Espesor \leq 200mm (8 pulg.) |
| | 220 (32) | Espesor de placas de acero $>$ 200mm (8 pulg.) |
| Elongación, %, \geq | 20 | Placas y barras en 200 mm (8 pulg.) |
| | 23 | Placas y barras en 50 mm (2 pulg.) |
| Dureza Brinell, HBW | 119-162 | – |
| Módulo de elasticidad, GPa (ksi) | 200 (29×10^3) | – |
| Módulo de corte, GPa (ksi) | 79.3 (11.5×10^3) | – |
| Fy del acero A36 (Limite de fluencia), MPa (ksi), \geq | 250 (36) | – |

Fuente: elaboración propia.

En sus propiedades físicas para el acero A36 tenemos.

-Densidad del acero = 7.85 g/cm^3

$$0.284 \text{ lb/in}^3$$

-Relacion de poissons = 0.26

Proceso de fabricación del acero estructural

El proceso de producción comienza cuando el carbón metalúrgico se procesa en fábricas de coquizadores (el proceso destructivo de la destilación en seco del carbón, convirtiéndolo de un material denso y quebradizo en un material fuerte y poroso). durante 18 horas, cuando se realiza la descomposición térmica para separar moléculas grandes en moléculas más pequeñas en hornos verticales revestidos con refractarios, para extraer metano y otros subproductos, como la resina, del carbón metalúrgico.

La degradación térmica conduce a la formación de coque, la energía principal de los altos hornos para la producción de hierro fundido (primer hierro fundido con un

contenido de carbono de aproximadamente 4%). El hierro fundido es duro, pero muy frágil (el material plástico es más interesante, lo que "advierde" de su condición de tensión) para reducir el porcentaje de carbono sin pérdida de resistencia, el hierro fundido se limpia en los convertidores, donde se quema el exceso de carbono y se obtiene acero crudo con un contenido de carbono de aproximadamente el 2%.

El acero líquido se transporta luego a un molde de cobre oscilante refrigerado por agua, que convierte el acero sólido en una sección rectangular llamada "placa". La hoja se corta a medida para los procesos posteriores, de acuerdo con las especificaciones de cada proyecto.

Finalmente, el laminado en caliente de un bloque cuadrado produce "ondas" a partir de perfiles estructurales (vigas, canales y esquinas). La pieza de trabajo se procesa en una serie de pasadas a través de rodillos horizontales y verticales para lograr las formas y tamaños deseados.

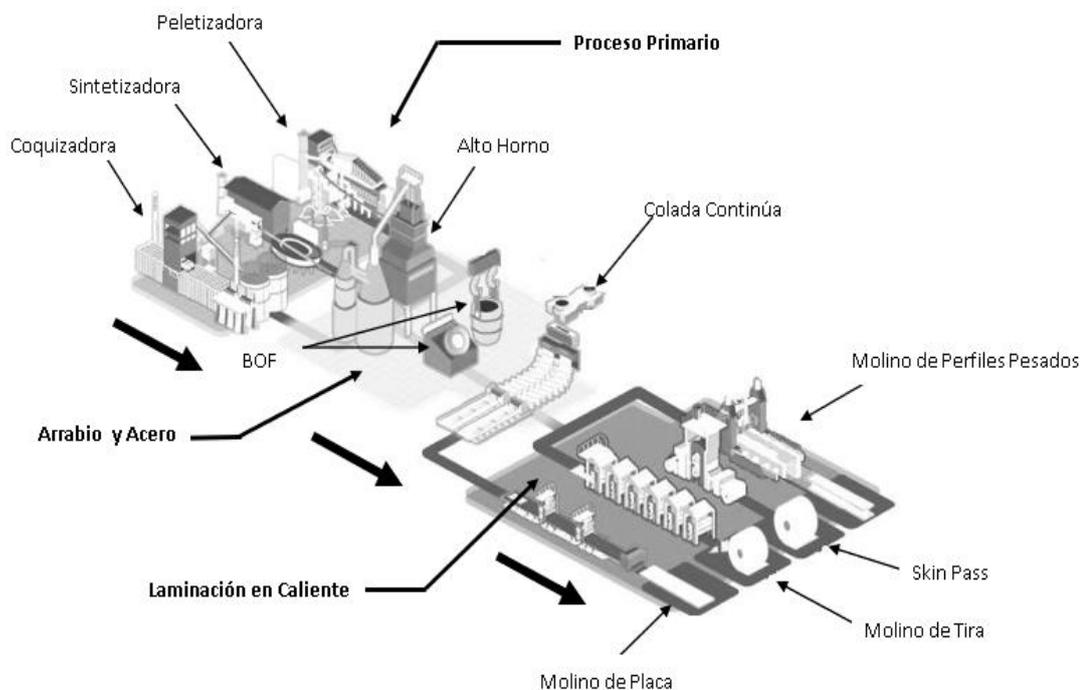


Figura 13. proceso de fabricación y rodado

Corrosión

La corrosión es el deterioro de una sustancia como resultado de su reacción con el medio ambiente. Este concepto reconoce que los metales no son los únicos materiales que se corroen, y que otros materiales como la madera, la cerámica, el plástico, etc. se deteriorarán. Además, puede que no haya cambios visibles en el material, pero el material puede fallar inesperadamente debido a algunos cambios en la estructura interna.

“La corrosión afecta a todos los materiales independientemente del tipo de actividad o sector en cuestión. El plástico puede hincharse o agrietarse; madera, abierta o podrida; granito, erosión y cemento Portland, lixiviación. El daño causado por medios físicos no se llama corrosión, sino erosión, abrasión o desgaste.” (Rosario y Yácano, 2003, párr. 20).

Para fines de nuestro trabajo de investigación nos enfocaremos en los estados de oxidación que presenta los metales como lo es el acero estructural A36

Vida Útil

La vida útil de una estructura se define como el "período de tiempo" a partir del cual finaliza su ejecución, durante el cual se debe mantener el cumplimiento de los requisitos. Requeriría protección general durante este período, sin incluir las operaciones de rehabilitación. La vida útil nominal depende del tipo de estructura y debe ser determinada por la propiedad antes del inicio del proyecto". Se emplea el término "vida útil" de forma equivalente a como lo hace cuando hace referencia al "período de servicio".

A veces, el concepto de vida útil se confunde con la sostenibilidad. Según Silva (2001), la vida útil puede considerarse como la magnitud de la durabilidad y, por lo tanto, es cada vez más importante que se diseñe y construya dentro del criterio de durabilidad para dar cuenta de la prolongación de la vida útil.

Algunos autores han propuesto una definición de vida útil o vida útil teniendo en cuenta los efectos actuales del cambio climático. Es el caso de Mendoza y Castro (2009), Él define la vida útil como el "período de tiempo" durante el cual el rendimiento del material, elemento o estructura mantiene los requisitos del proyecto en términos de seguridad (resistencia mecánica y estabilidad, protección contra incendios, seguridad en el uso), Funcionalidad (protección contra la higiene,

salud y medio ambiente, ahorro de ruido y energía y confort térmico) y estética (deformación, grietas), con un mantenimiento mínimo que permite controlar los efectos del cambio climático global en su entorno.

Fin de la vida útil

Según autores como, Talon et al. (2004) “El final de la vida útil llega cuando los materiales o componentes de construcción, una vez instalados y fabricados, se usan y aplican a una parte de la propiedad, sin cumplir con los requisitos de rendimiento; Y cuando no es económicamente conveniente continuar con el mantenimiento correctivo de dichos componentes debido a sus fallas físicas

En definitiva, el final de la vida útil se dará cuando los requisitos esenciales dejen de cumplirse.

- Seguridad en caso de incendio.
- Seguridad estructural.
- Higiene, salud y protección del medio ambiente.
- Seguridad de utilización y accesibilidad.
- Protección frente al ruido.
- Ahorro de energía.
- Protección frente al ruido.

En la siguiente gráfica, elaborada por Ferreira (2009), Se ha demostrado cómo se alcanza el final de la vida útil mediante criterios de seguridad, funcionalidad y apariencia. La seguridad es el criterio más importante, por lo que tiene un mayor nivel de demanda que los otros dos criterios. A pesar de esto, a veces el final de la vida solo puede ser por criterios estéticos o funcionales, como se muestra en la siguiente figura:

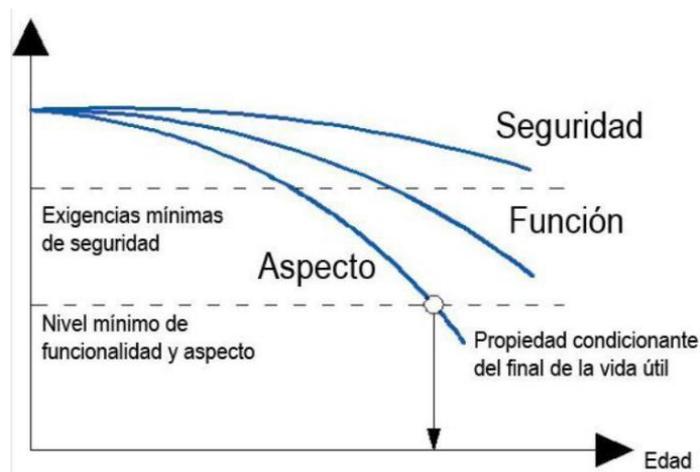


Figura 14. Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo.

Mantenimiento

El estándar ISO / IEC 2382-14 define la estabilidad como "la capacidad de una unidad funcional, bajo condiciones de uso, para ser mantenida o restaurada a un estado en el que pueda realizar sus funciones esenciales, cuando El mantenimiento se realiza utilizando las condiciones establecidas y los procedimientos y recursos determinados."

Por su parte, Chew y Silva (2003) Expresen el término mantenimiento como la capacidad de lograr un rendimiento óptimo durante la vida útil de un edificio con un costo mínimo del ciclo de vida.

El enfoque conceptual de este proyecto de investigación es cuantitativo porque se realizará un análisis comparativo entre una estructura metálica. Estructura de Frp con la recopilación de datos sobre nuestras dimensiones e indicadores para descubrir qué material es el mejor en lugar de nuestra investigación y antes de las adversidades medioambientales a lo largo del tiempo. Los dos materiales tienen diferentes propiedades físicas y mecánicas y también son altamente resistentes, pero en este análisis comparativo estudiaremos el comportamiento estructural, el manejo del material en relación con la composición, el mantenimiento y los aspectos económicos de la estructura. A corto y largo plazo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

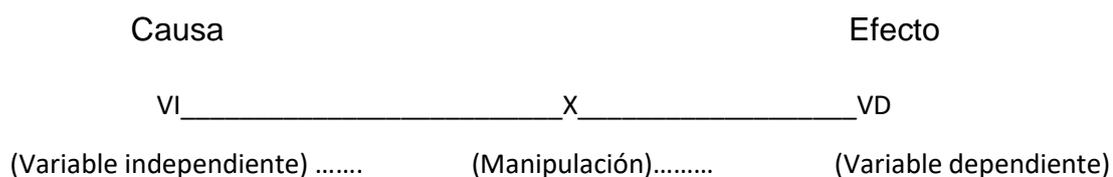
3.1.1. Tipo de investigación

Nuestra investigación es de tipo aplicada y está interesada en aplicar el conocimiento teórico a una situación específica. La investigación aplicada está vinculada a la investigación básica porque depende de los principios científicos de esta última para su ejecución.

Para Murillo (2008), La investigación aplicada se llama "investigación práctica o empírica", que se caracteriza por el deseo de aplicar o utilizar el conocimiento adquirido a través de conceptos basada en el proyecto de investigación. El uso del conocimiento como de los resultados de la investigación conducen a una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

3.1.2. Diseño de investigación:

En nuestro estudio se manipulan intencionalmente las variables independientes para analizar los resultados en la variable dependiente controlada por los investigadores, como consecuencia el diseño experimental se utiliza para ver el efecto de una causa manipulada en tiempo determinado por ello es de corte transversal ya que se estudia el desarrollo de las variables en un momento dado.



El diseño del experimento tiene al menos dos significados: uno general y otro especial. Generalmente se refiere a "elegir una acción o tomar una acción" y luego observar las consecuencias. (Babbie, 2014).

3.1.3 Nivel de investigación

La presente investigación es tipo descriptiva – explicativa ya que se utilizará métodos de análisis y lograr determinar un objeto de estudio o una situación concreta, que señale sus características y propiedades

El nivel de investigación descriptiva busca determinar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que sea sometido análisis. (Hernández, Sampieri, Fernández y Baptista, 2006).

Explicativa: Pretende explicar la relación causa – efecto de dos o más variables. solo se alcanza con el diseño experimental

3.1.4 Enfoque de Investigación cuantitativa

El objetivo de este proyecto de investigación es el análisis cuantitativo, ya que se realizará un análisis comparativo entre la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR volvo, y se medirán los fenómenos estudiados con las mediciones numéricas.

“La investigación cuantitativa utiliza una estrategia sistemática, objetiva y rigurosa para generar y refinar el conocimiento. Este proyecto utiliza principalmente el razonamiento deductivo y la generalización. El pensamiento deductivo es un proceso en el que un investigador inicia con una teoría o una estructura establecida, en el que los conceptos se reducen a variables y reúnen evidencia para evaluar o verificar que la teoría ha sido validada. La generalización es la medida en que las conclusiones extraídas de la evidencia recopilada de una muestra pueden extenderse a una población más amplia.” (Sampieri, Collado y Lucio, 2006, p. 02)

3.2 Variables y Operacionalización

3.2.1 Variables

Variable independiente (X):

X₁ = Estructura metálica

X₂ = Estructura de FRP

Variable dependiente (Y):

Y = Mejoramiento de la cubierta

3.2.2 Definición conceptual

Variable independiente:

(X₁) Estructura metálica

Según (Benito, 2011) Definimos una estructura metálica como la ejecución de una construcción mediante la conjunción ordenada de diferentes elementos resistentes que soportan las acciones para las que fueron diseñadas.

(X₂) Estructura de FRP

(Tierno, 2008, P. 13.) Uno de los componentes suele ser el componente de refuerzo de forma de fibra, que proporciona al material su capacidad resistente a la tracción. La misma puede ser vidrio. [...], el otro componente denominado matriz, suele ser una resina de poliéster, epoxi fenólico, que envuelve y liga a las fibras.

Variable dependiente:

(Y) Mejoramiento de cubierta

La mejora de los procesos de construcción se puede aplicar desde el comienzo del proyecto, en la etapa de planificación, cuando se toman decisiones importantes con respecto a elementos tales como tecnologías, sistemas de construcción y materiales. (hernández,2016, p.65)

3.2.3 Definición operacional de las variables:

Estructura metálica (X₁)

Este es cualquier armazón en el que la mayoría de los elementos que lo componen son materiales metálicos, tienen excelentes características estructurales, son muy funcionales, aunque actúan negativamente en presencia de humedad.

Estructura de FRP (X_2)

El material de FRP es un material compuesto, con buenas propiedades mecánicas, el cual se ha utilizado con éxito en entornos altamente agresivos, su resistencia a la corrosión en contacto con ambientes alcalinos, disminuye el costo de mantenimiento y aumenta la vida útil.

Indicadores

- Propiedades físicas mecánicas del material
- Vida útil estimada
- Perfiles
- Equipos requeridos
- Tiempo de fabricación
- Periodicidad
- Tipo
- Materiales, equipos y herramientas

Escala de Medición

Escala de Intervalo

Las escalas principales o de intervalo son más precisas porque, además del orden o la jerarquía entre categorías, etiquetas o números consecutivos, establecen intervalos de medición iguales (las distancias entre categorías son las mismas en toda la escala). La medición en la escala de intervalos se basa en la suposición de que la diferencia entre los objetos medidos en esta escala puede conocerse exactamente. Es decir, debe ser posible asignar un número a cada objeto para que la diferencia entre los objetos se refleje como la diferencia entre los números asignados.

Escala Razón

La escala de razón generalmente se usa para medir la longitud, la masa, la intensidad de la corriente eléctrica y otras variables en el mundo físico. Raramente se usa en las ciencias sociales, porque se reducen los casos en que estas variables pueden determinarse con la precisión necesaria.

Dado que el sistema de medición de relaciones contiene cero, que representa el valor, se pueden realizar varias operaciones matemáticas al medir el atributo. Por

ejemplo, obtener proporciones. En este sentido, este tipo de medición se considera más explicativo en comparación con los niveles anteriores.

Mejoramiento de cubierta (Y)

Para el mejoramiento de la cubierta de la Ptar se realizará a través de la comparación entre sus indicadores, así como su diseño con ambos materiales con el fin de tener una estructura con mayor resistencia a la corrosión, menor mantenimiento, reducir costos y aumentar su vida útil.

Indicadores

- Análisis estructural
- Análisis sísmico
- Mano de obra
- Materiales
- Proceso constructivo
- Material
- Ejecución
- Tiempo de ejecución
- Mantenimiento

3.3. Población y Muestra

3.3.1 Población

Conjunto finito o infinito de elementos que comparten atributos o características comunes y están sujetos a observación y medición.

Lo que nos dice. López, (2004). Este es un conjunto de personas u objetos que desea comprender durante la investigación y que puede consistir en personas, animales, muestras de laboratorio, registros, entre otras cosas.

La población estará conformada por el análisis comparativo de dos cubiertas una de acero estructural y la otra de material de plásticos reforzadas con fibras. Ubicadas en la ptar de la empresa volvo, sede Lurín.

3.3.2 Muestra

Se le llama muestra a la población que se estudiará para luego representarla. Para López, (2004) muestra es una parte significativa de la población donde se realizaran la investigación.

En este trabajo se tendrá como muestra el mismo tamaño que de la población el análisis comparativo de dos cubiertas una de acero estructural y la otra de material de plásticos reforzadas con fibras (FRP). en el mejoramiento de cubierta de la ptar volvo, Lurín – 2020.

3.3.3 Muestreo

El muestreo por conveniencia es una técnica de muestreo no probabilista y no aleatoria que se utiliza para muestrear en base a un fácil acceso, la disponibilidad de personas para formar parte de la muestra, dentro de un intervalo de tiempo especificado, o cualquier otra especificación práctica de un elemento determinado

Para Kinner et al, (1993) un muestreo probabilístico es en el cual “cada elemento de la población tiene una oportunidad conocida de ser seleccionado” y el no probabilístico “la selección de elementos se basa en criterios específicos del investigador”. Los no probabilísticos incluyen: muestras por conveniencia, juicio y cuotas; los primeros se seleccionan según la conveniencia del investigador, los segundos según la opinión del mismo, y las cuotas se utilizan en la base y la distribución de la población definida por las características de control.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Fidias, (2012) Los métodos de recolección de datos son diferentes formas y medios de obtener información. Por ejemplo, los métodos de observación, encuestas, análisis de documentos y análisis de contenido también nos dicen que las herramientas son herramientas utilizadas para recopilar información.

Tabla 12. *Técnicas e instrumentos*

| TÉCNICA | INSTRUMENTO |
|--|--|
| -Se utilizará la técnica de la observación directa mediante visitas periódicas con el fin de identificar y recolectar datos para el análisis comparativo de la cubierta. | -Se realizará una guía de observación lo cual nos servirá para recolectar datos para nuestros cálculos se utilizará cámara fotográfica, y formato realizado por los autores. -Se realizará la entrevista al experto con preguntas realizada por los autores. Lo cual estará validado por una cámara de video. |

| | |
|--|---|
| <p>-Se realizará la entrevista al ingeniero a cargo de la construcción de la cubierta.</p> | <p>-También utilizaremos fichas técnicas, expediente técnico, software SAP 2000, Ms Project, hojas de cálculo Excel, así como las normas.</p> |
|--|---|

3.4 Validez y confiabilidad

La validez del estudio se determinará de manera técnica y especializada a través de los instrumentos tales como las fichas de recolección de datos formulado por los investigadores y recomendados por las normas sobre estructuras metálicas y FRP.

También se realizará el procesamiento a través del software SAP2000 que será de apoyo para el modelamiento de la cubierta de la PTAR que elaborado correctamente se asemeja al comportamiento efectivo de la estructura. Los datos introducidos nos otorgaran resultados con veracidad toda la documentación se considerará en los anexos.

3.5. Procedimientos

Se realizará el procedimiento a través de cuestionarios, fichas técnicas, hojas de cálculos, Excel, S10, Project y SAP 2000, de ambos materiales como la estructura metálica y la estructura de frp para compararlos y ver los beneficios y carencias.

3.6. Método de análisis de datos

Se realizará un análisis comparativo de la estructura del techo con la estructura metálica y la estructura de los plásticos reforzados con fibras, se utilizarán tablas de recolección de datos preparadas por los autores, donde se recomendará de acuerdo con los estándares anteriores.

Se realizará la entrevista al experto y la encuesta a los técnicos. Para la elaboración y mantenimiento de la cubierta con ambos materiales, Luego en una hoja de cálculo se procederá a colocar los costos de materiales, elaboración y mantenimiento.

También se procederá a la elaboración del cálculo estructural utilizando el SAP2000 para obtener los resultados estructurales de ambos materiales.

3.7 Aspectos éticos

La información de este proyecto se encuentra citado y nombrado cada uno con sus autores, la recolección de datos que se obtendrá será detallada según lo estipulado en las normas nacionales como internacionales con el fin de realizar nuestra investigación de manera eficaz.

IV.RESULTADOS

4.1 Desarrollo del procedimiento

Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se ubica en la Panamericana sur – Lima - Lurín en la llamada zona industrial de Lurín, el terreno del predio cuenta con 45,706 m². Las cuales esta divididas en lo siguiente:

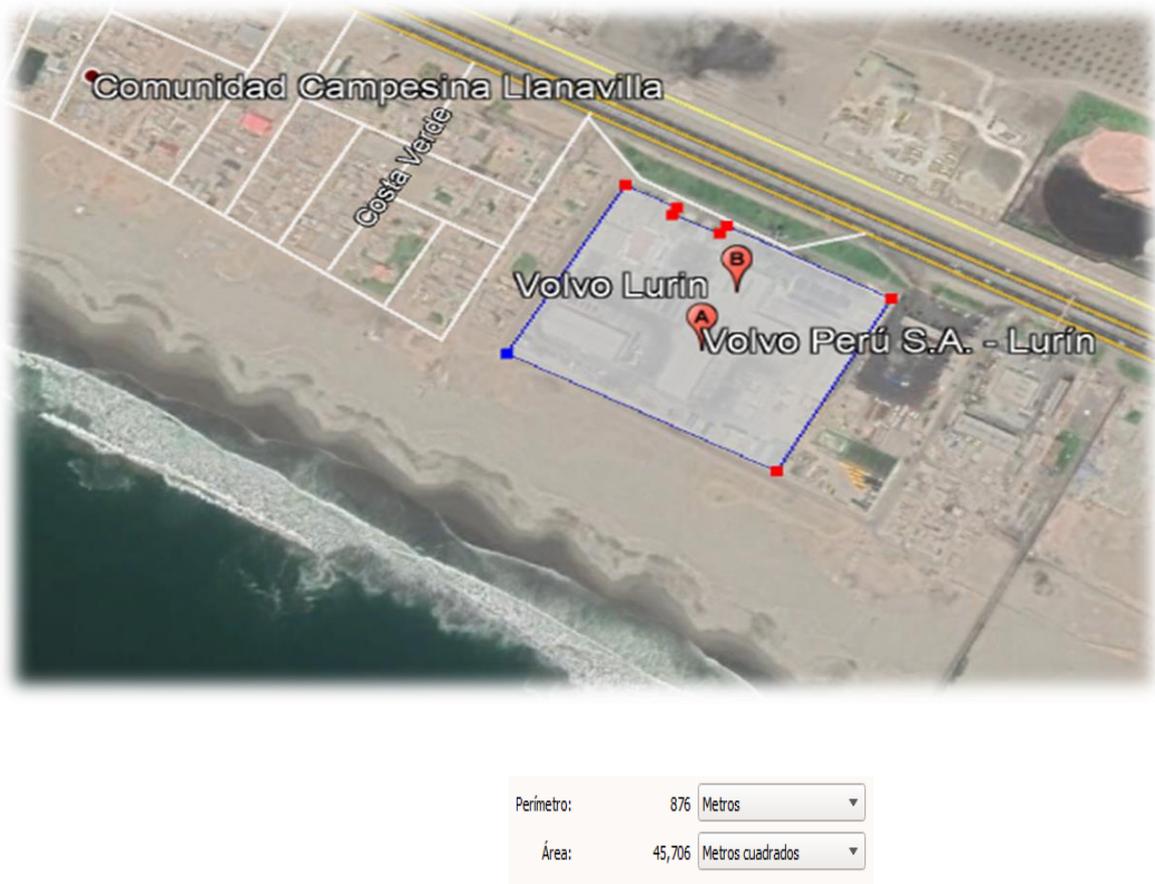


Figura 15. Zona de estudio del proyecto (Google Earth)

Frente: La carretera panamericana sur Km 23.8

Derecha: Colinda con la av. playa hermosa

Izquierda: Colinda con la comunidad campesina Llanavilla

Fondo: El océano pacifico

En el interior del predio a una distancia de 172m de la parte frontal que colinda con la panamericana se ubica el punto donde se llevó el desarrollo proyecto y estará destinada para el uso de planta de tratamientos de aguas residuales (PTAR) el cual cuenta con un área total de 550m², el cual colinda con un almacén de equipos, almacén de pintura, cuarto de bombas y cisterna de agua tratad.

Largo= 30.90 ml (laterales)

Ancho= 17.80 ml (frente y fondo)



Figura 16. Vista lateral del proyecto.

Datos obtenidos para el inicio de la modelación

- Luz entre columnas = 8 ml.
- Longitud = 30.60 ml
- Ancho tributario = 54m²
- Altura típica = 6.50 m
- Velocidad viento = 75km/h RNE e.020 articulo 12.3

Procedimiento de Cálculo

A partir del modelo CAD elaborado se analizó y se calculó las cargas aplicadas por la cobertura de calaminón, sobre ambas estructuras que soportan la acción de las cargas externas (carga de sismo, carga de viento, etc.)

Se presenta los valores de cargas aplicadas por las cubiertas sobre las estructuras diseñadas, diagrama demanda– capacidad mediante imágenes de esfuerzos representada por colores definidas por el software

Modelo estructural

La concepción del modelo estructural radica en la formulación de los ejes en planta a partir de la geometría dispuesta en los planos arquitectónicos.

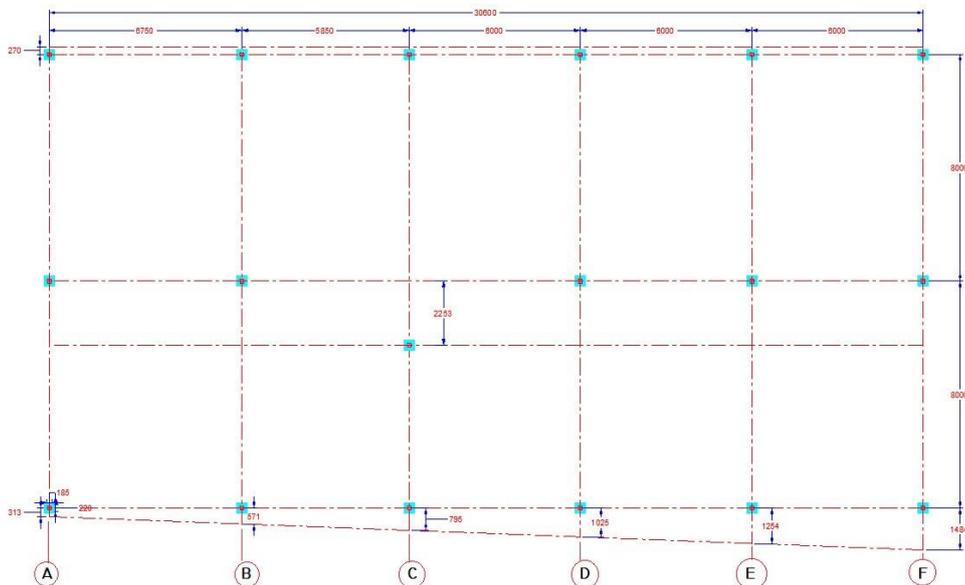


Figura 17. Ejes del modelo estructural.

Los pórticos que componen la estructura, sin típicos en los ejes: A, B, D, E y F

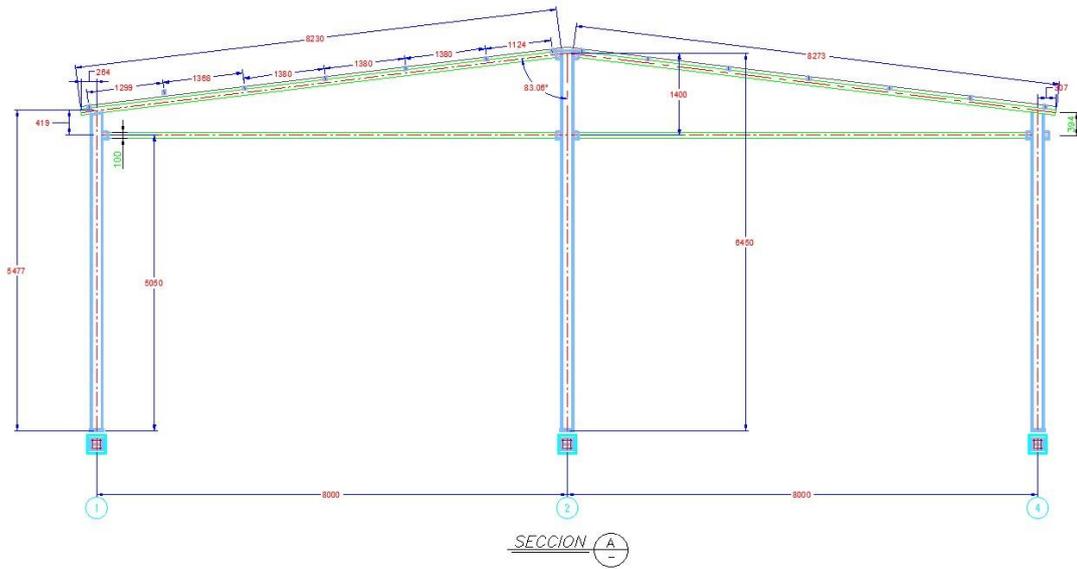


Figura 18. Pórtico principal en los ejes A, B, D, E y F

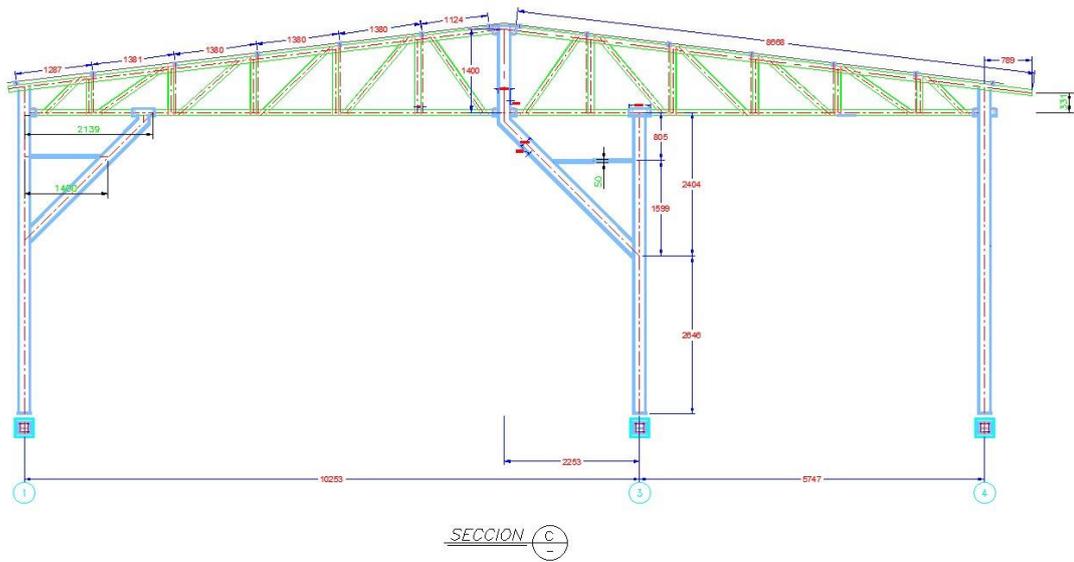


Figura 19. Pórtico principal en el eje C

Geometría de los elementos estructurales y no estructurales

a. Cobertura

- La cobertura del modelo patrón está compuesta de una calamina de espesor $e = 4.25\text{mm}$
- La cobertura del modelo con FRP tiene un espesor $e = 5\text{mm}$

b. Geometría de Vigas

- Modelo Patrón y FRP
- AP 4"x4"x1/4"

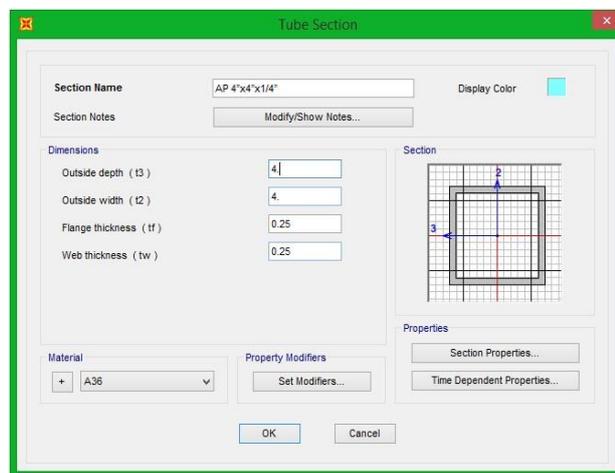


Figura 20. Armadura Principal, en pulgadas

- AS 2"x3"x1/8"

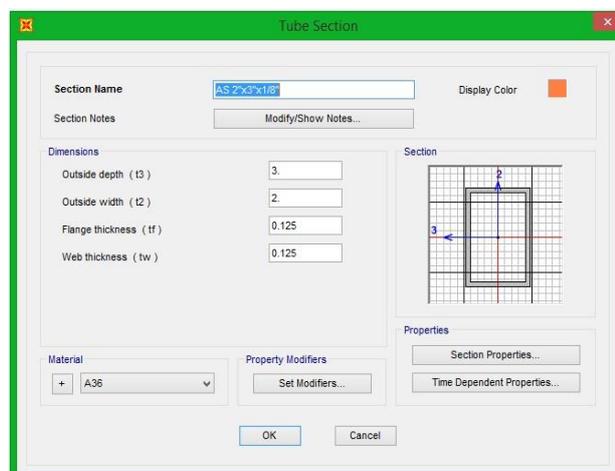


Figura 21. Armadura Secundaria, en pulgadas

- VP 4"x4"x1/4"

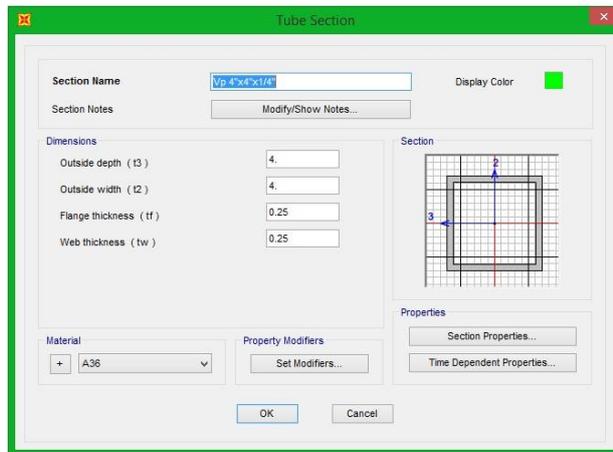


Figura 22. Viga Principal, en Pulgadas

- VS 2"x2"x1/4"

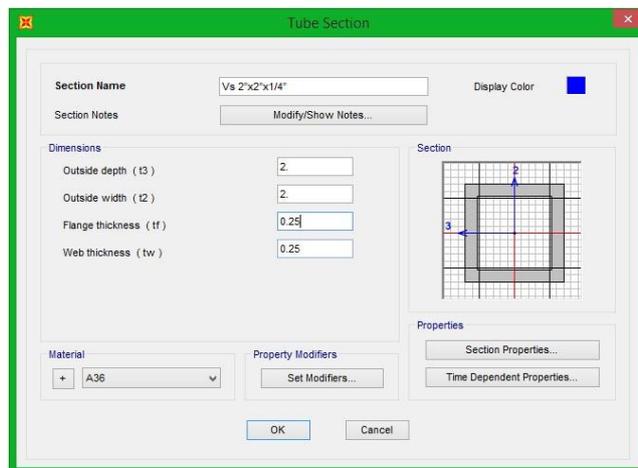


Figura 23. Viga Secundaria, en Pulgadas

- c. Geometría de columnas
 - Modelo Patrón y FRP
- Sección W8x24

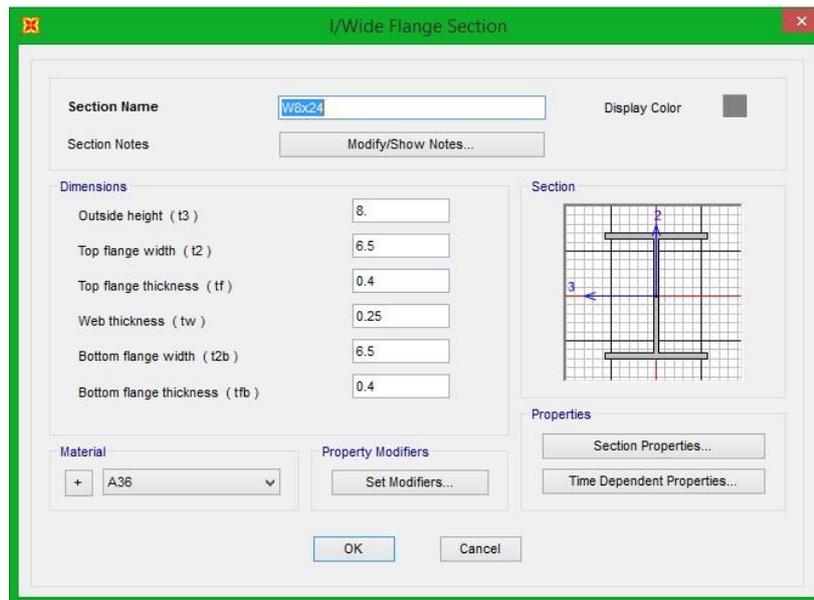


Figura 24. Sección W8x24, en Pulgadas

MODELAMIENTO

El análisis estructural se realizará con la herramienta computacional SAP2000 versión 2020, teniendo en consideración los parámetros estipulados en las normas vigentes.

a. Propiedades de los materiales

Propiedades del Acero – Modelo Patrón

$$F_y = \text{Grado 36} = 36 \text{ Ksi} = 2531.05 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 200\,000 \text{ Mpa} = 2\,039\,432.426 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Norma: E.090, 5.2.1)}$$

$$\text{Peso Específico} = 7849.0476 \text{ Kg/cm}^3$$

Propiedades del FRP – Modelo con FRP

FFRP = 35 Ksi = 2460.744 Kgf/cm²

Ec = 140 000Mpa = 1 427 602.698 Kgf/cm²

Peso Específico = 2530 Kgf/m³

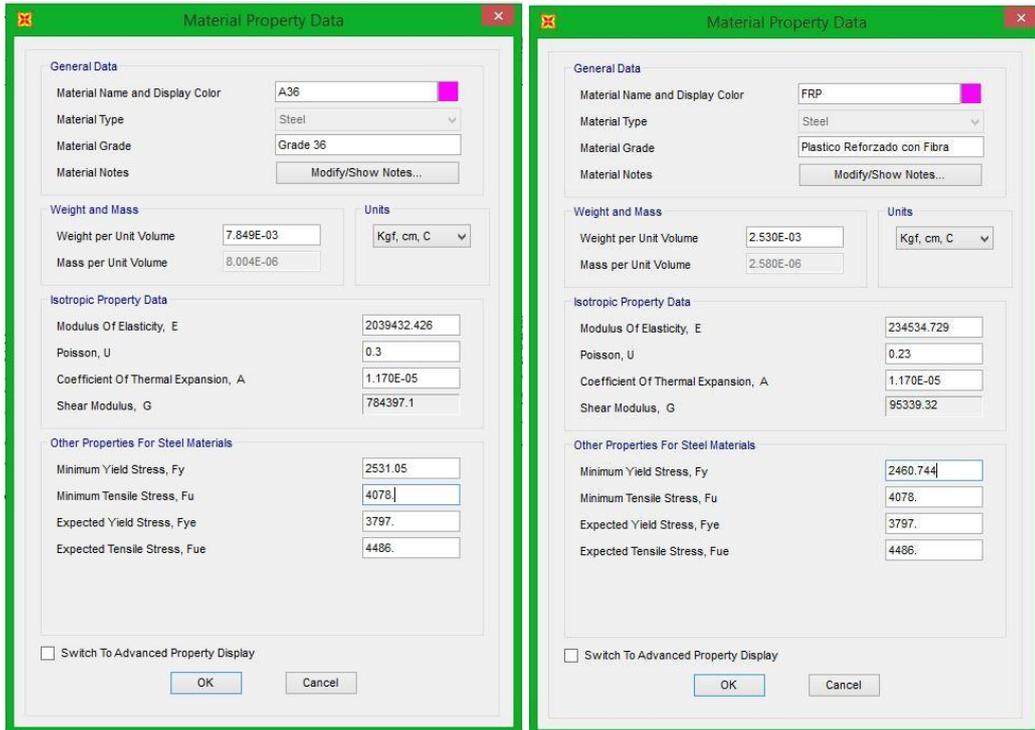


Figura 25. Propiedades Mecánicas del Acero Grado 36 y del FRP

MODELO ESTRUCTURAL EN SAP2000 EN SU VERSIÓN 20.2.0

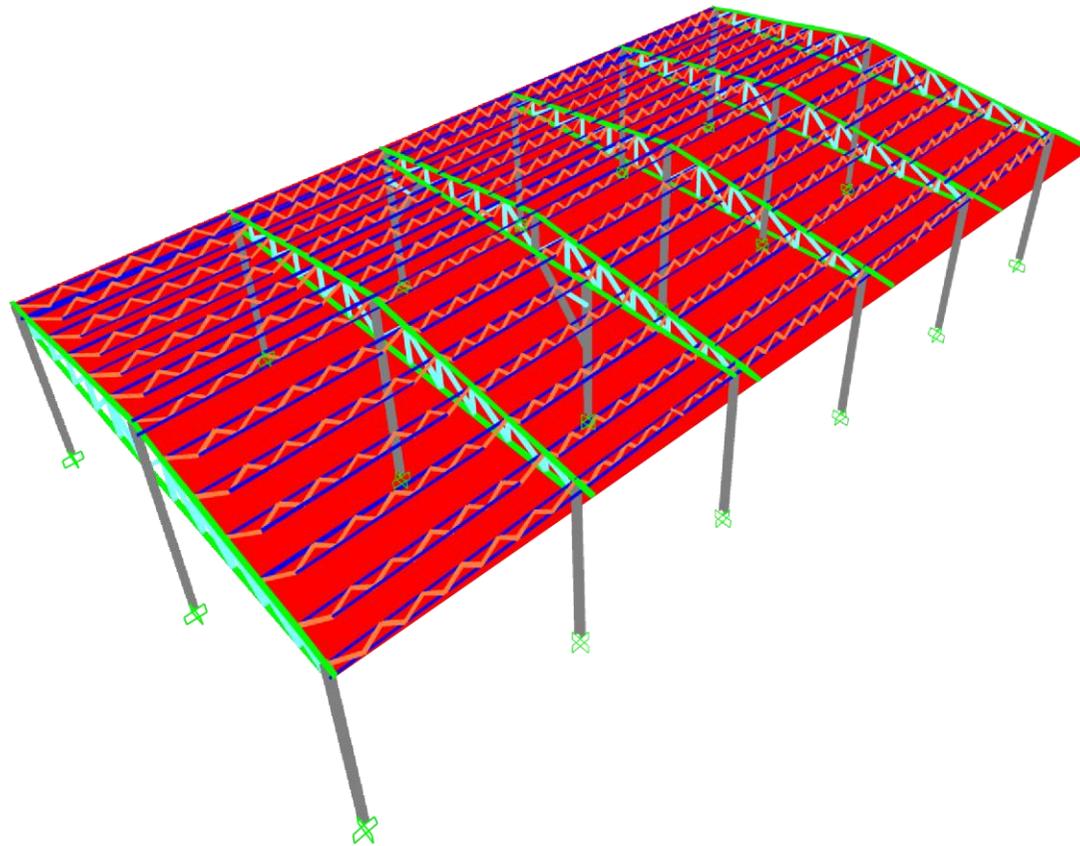


Figura 26. Modelo Estructural

b. Cargas consideradas en el análisis

Las cargas que tomarán para el análisis estructural del modelo matemático, son las que se encuentran en la norma E.020 del RNE y las combinaciones de carga, serán las que se encuentran en el numeral 1.4.1 de la norma E.090 del RNE

- Carga Muerta:

- Peso propio según el anexo 1 de la NTP–E.020
- El peso específico del acero grado 36 es de 7849.0476 kgf/m³, se considerará una sobrecarga permanente de 10 kgf/m² como factor de seguridad

- Carga Viva:

- La carga viva que se utilizará es de acuerdo a los numerales 7.1 de la NTP–E.020 en el inciso d.
- La carga viva es de 30 kg/cm²

- Carga de Viento:

- La carga de viento se calculará de acuerdo al artículo 12, en los numerales 12.3 y 12.4 de la NTP–E.020

Velocidad de diseño para 6.50 m de altura es 100 km/h el máximo en Lima según el anexo 02 de la Norma E.020

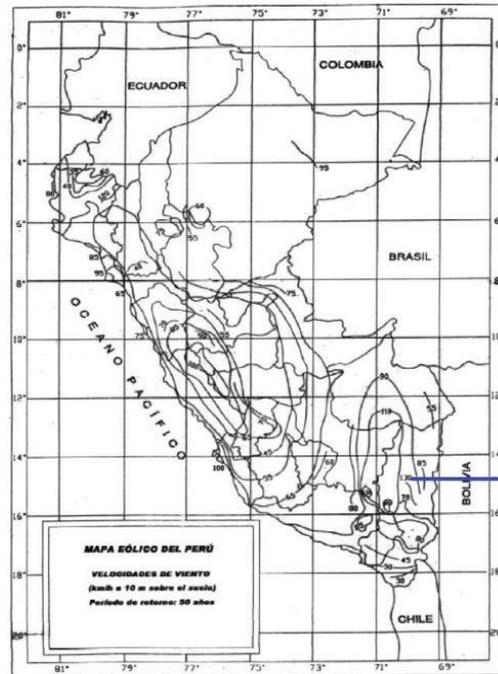


Figura 27. Mapa Eólico del Perú

- Fuerza Sísmica

La fuerza sísmica calculará a partir a partir del peso total, tal y como se indica en la norma E.030, la cual establece la estimación del peso, sumando al peso permanente 25% de la carga viva (Por tratarse de una edificación de la categoría C) más el 25% de la carga de techo.

Tabla 13. Cargas de Diseño

| DESCRIPCIÓN DE CARGA | VALOR (kg/m ²) |
|------------------------|----------------------------|
| Sobrecarga permanente | 10 |
| Carga Viva | 30 |
| CARGA DE VIENTO | |
| BARLOVENTO | 12.41 |
| SOTAVENTO | -24.82 |

Fuente: elaboración propia.

Una vez modelada la estructura, se procede a efectuar análisis respectivo.

I. Análisis sísmico estático

El objetivo principal de realizar el presente análisis sísmico es, obtener los datos necesarios que permitan cumplir los requisitos estipulados en el numeral 3.9 de la NTP E.030 (*Mínima fuerza cortante y máxima distorsión de entrepiso permisible*) en concordancia con los numerales 4.6.4 y 5.2 de nuestra NTP E.030.

Parámetros normativos utilizados en el análisis sísmico

En la siguiente tabla se detalla los parámetros normativos para efectuar el análisis sísmico de la estructura.

- **Zona:** La edificación se sitúa en el distrito Lurín, al visualizar en el mapa de zonificación de nuestra norma E.030, está situado sobre la zona 4. Por tanto, le corresponde un factor $Z =$

0.45.

| ZONA | |
|------|------|
| 4 | 0.45 |
| 3 | 0.35 |
| 2 | 0.25 |
| 1 | 0.10 |



Figura 28. Zonas sísmicas. Fuente: NTP E.030 – 2018

- **Uso:** La edificación es una edificación común, por consiguiente, según la tabla N°5 de la NTP E.030, el factor uso o importancia $U = 1.0$
- **Suelo:** El perfil de suelo es de tipo S3 o un suelo intermedio, consecuentemente, el factor de suelo “S” según la tabla N° 3 de la norma es 1.10.

Los Periodos TP y TL, que dependen del tipo de suelo según la tabla N° 4 son 1.00 s y 1.60 s respectivamente.

- **Factor de amplificación sísmica:** “C” se calcula según las inecuaciones del numeral 2.5 el mismo que se calcula con las siguientes expresiones:

$$T < T_P$$
$$T_P < T < T_L$$
$$T > T_L$$

$$C = 2.5$$
$$C = 2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right)$$
$$C = 2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)$$

Donde:

T = Período fundamental de la estructura

TP = Período que define la plataforma del factor C

TL = Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

4.2 Resultados

4.3.1 Análisis Estructural

Fuerza Axial

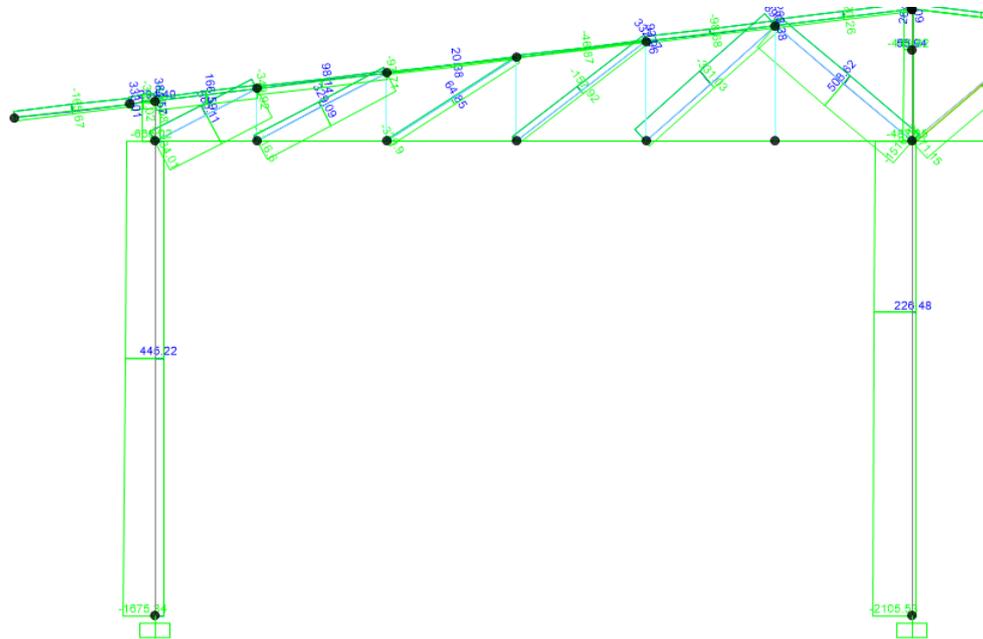


Figura 29. Fuerza axial en la estructura con cubierta metálica.

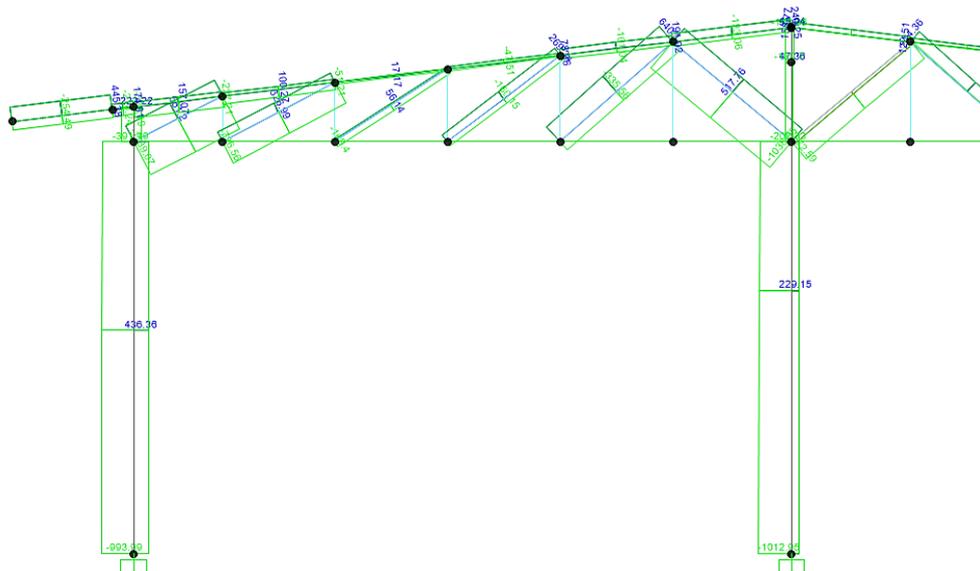


Figura 30. Fuerza axial en la estructura con FRP.

Torsión

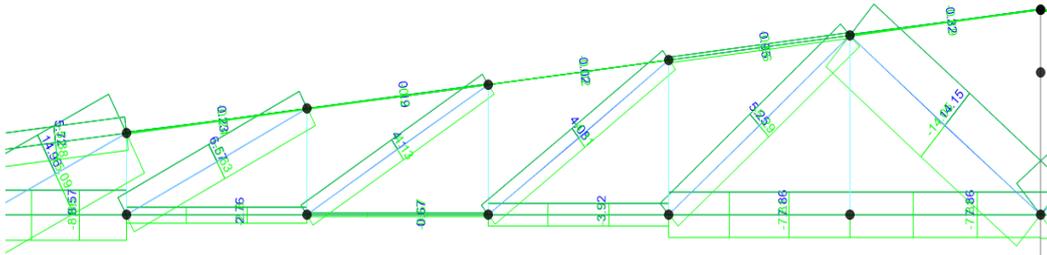


Figura 31. Fuerza torsional en la estructura con cubierta metálica.

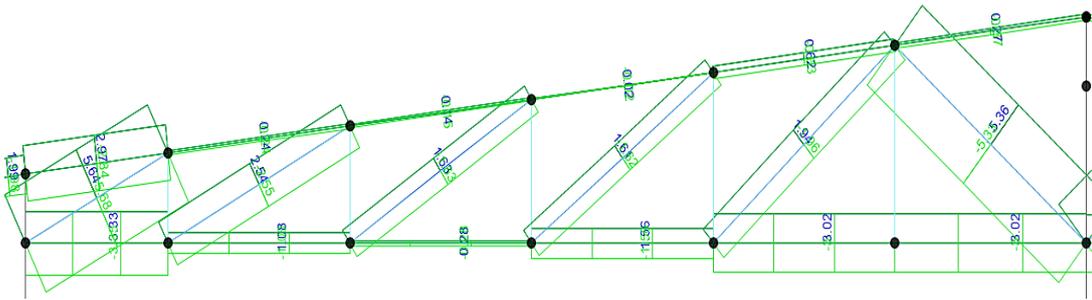


Figura 32. Fuerza torsional en la estructura con FRP.

Momentos

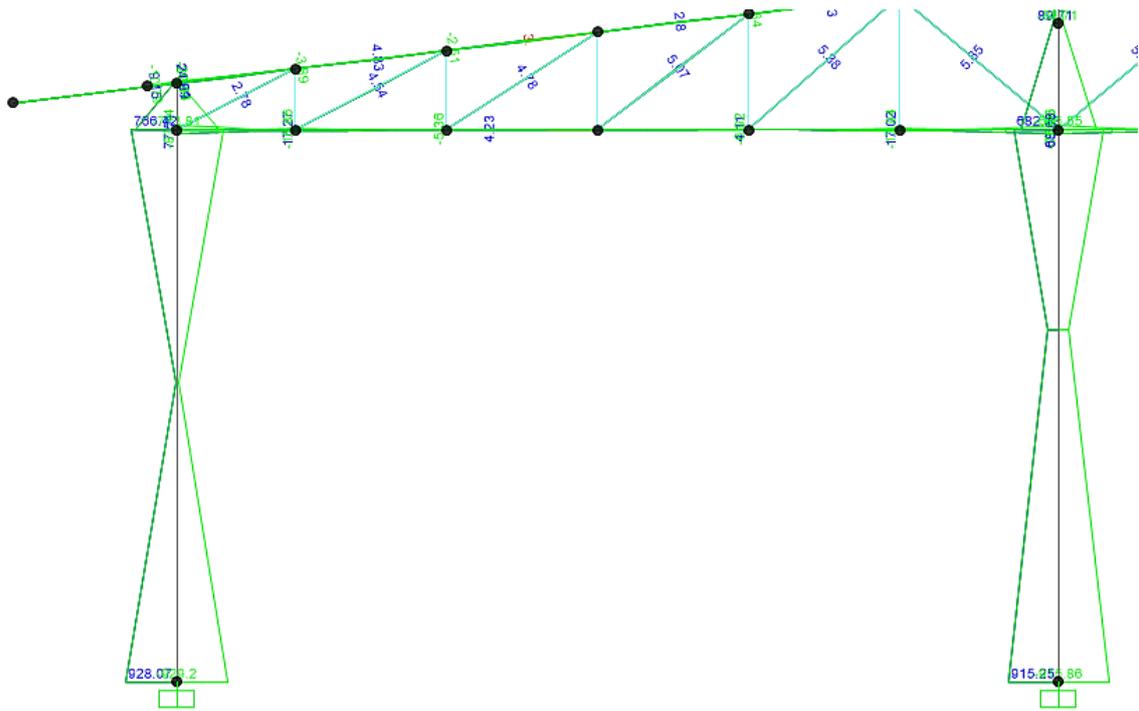


Figura 33. Momento en la estructura con cubierta metálica.

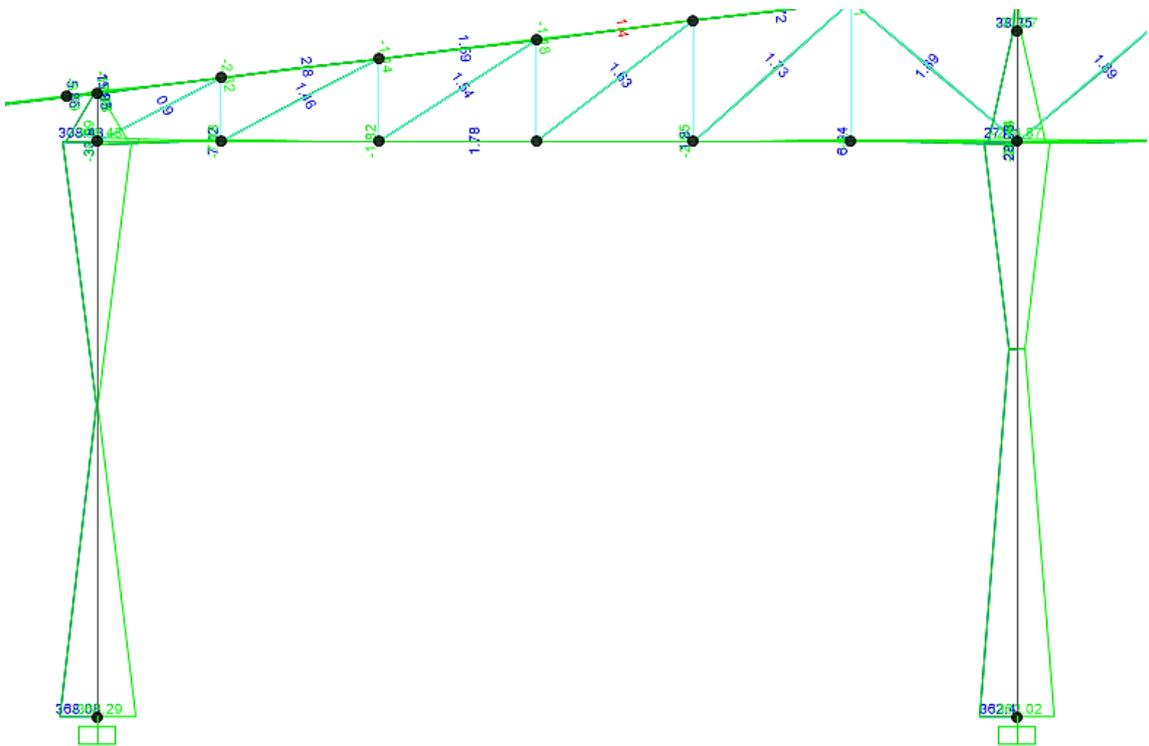


Figura 34. Momento en la estructura con FRP.

Cuadro resumen del Análisis estructural

Tabla 14. *Fuerzas axiales*

| MODELO | FUERZA AXIAL | |
|----------------------------------|--------------|------|
| Estructura con cubierta metálica | 1675.34 | Kg.f |
| Estructura con cubierta de FRP | 993.99 | Kg.f |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. *Fuerzas de torsión*

| MODELO | TORSION | |
|----------------------------------|---------|------|
| Estructura con cubierta metálica | 14.15 | Kg.f |
| Estructura con cubierta de FRP | 5.36 | Kg.f |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. *Momentos flectores*

| MODELO | MOMENTO | |
|----------------------------------|---------|------|
| Estructura con cubierta metálica | 928.07 | Kg.m |
| Estructura con cubierta de FRP | 368.08 | Kg.m |

Fuente: elaboración propia.

Interpretación:

Como se puede observar en las figuras 14, 15 y 16 las fuerzas halladas en los elementos estructurales son mayores en la estructura con cubierta metálicas, estas superando en un 40.66%, 62.12% y 60.33% a la de la estructura con FRP. Esto es debido a que la cubierta metálica es más pesada haciendo que sus esfuerzos y reacciones en los elementos sean más altos.

4.3.2 Análisis sísmicos

Tabla 17. Periodo y frecuencia de vibración.

| TABLE: Modal Periods And Frequencies | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|--------|-----------|----------|------------|
| OutputCase | StepType | StepNum | Period | Frequency | CircFreq | Eigenvalue |
| Text | Text | Unitless | Sec | Cyc/sec | rad/sec | rad2/sec2 |
| MODAL | Mode | 1 | 0.5731 | 1.744597 | 10.9616 | 120.1572 |
| MODAL | Mode | 2 | 0.3403 | 2.938281 | 18.46176 | 340.8369 |
| MODAL | Mode | 3 | 0.2868 | 3.485951 | 21.9028 | 479.7361 |

Fuente: elaboración propia.

El periodo fundamental del primer modo es: $T_x = 0.5731$ s; $T_y = 0.3403$ s

$$\text{Como: } T < T_P \rightarrow C = 2.5$$

- **Coefficiente de reducción de reducción de fuerza sísmica**

$R_0 = 6 \rightarrow$ Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)

Irregularidad en planta

La estructura no presenta irregularidades en planta, por tanto: $I_P = 1.0$

Irregularidad en altura

No hay Irregularidad en altura: $I_a = 1.0$

Por tanto: $R = R_0 * I_a * I_P = 6 * 1 * 1 \rightarrow R = 6$

Tabla 18. Análisis sísmico.

| DESCRIPCIÓN | NOMBRE | VALOR |
|-----------------------|----------|-------|
| ZONA | Z | 0.45 |
| USO | U | 1.00 |
| SUELO | S | 1.10 |
| T_P | | 1.00 |
| T_L | | 1.60 |
| AMPLIFICACIÓN SÍSMICA | C_x | 2.50 |
| | C_y | 2.50 |
| REDUCCIÓN SÍSMICA | R_{xy} | 6.00 |

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la cortante basal del modelo Patrón

coeficiente sísmico en la dirección X es:

$$\frac{ZUCS}{R} = 0.20625$$

$$C/R \geq 0.11 \quad 0.42 \text{ OK}$$

Luego, el coeficiente sísmico en la dirección Y es:

$$\frac{ZUCS}{R} = 0.20625$$

$$C/R \geq 0.11 \quad 0.42 \text{ OK}$$

Cálculo de la fuerza cortante en la base - Norma E.030 - Numeral 4.5.3

$$F_i = \alpha_i * V$$
$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot \sum P$$
$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=k}^n P_j(h_j)^k}$$

Donde:

- Para T menor o igual a 0.5: $k = 1.0$
- Para T mayor que 0.5: $k = (0.75 + 0.5 T) \leq 2.0$

Cálculo de k para la dirección X:

$$T_X = 0.5731 \text{ s} \rightarrow \text{entonces } k = \rightarrow k_X = 1.0366$$

$$T_Y = 0.3403 \text{ s} \rightarrow \text{entonces } k = \rightarrow k_Y = 1.0000$$

EL peso sísmico o masa participativa se calcula efectuando un metrado de cargas. También, se puede estimar por medio de la herramienta SAP2000.

Tabla 19. Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección

| Piso | Pi (Ton) | hi (m) | Pi*(hi)^k (Ton.m) | $\alpha^i = \frac{Pi*(hi)^k}{\sum Pi*(hi)^k}$ | Fi (Ton) | Vi (Ton) (Acumulado- Fi) |
|--------|----------|--------|----------------------|---|----------|--------------------------------|
| Piso 1 | 32.32 | 6.5 | 238.62 | 1.0000 | 6.67 | 6.67 |
| Base | 32.32 | | 238.62 | 1.00 | 6.67 | |

Fuente: elaboración propia.

La cortante basal de la dirección X es: $V_x = 6.67$ Ton

Tabla 20. Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección

| Piso | Pi (Ton) | hi (m) | Pi*(hi)^k (Ton.m) | $\alpha^i = \frac{Pi*(hi)^k}{\sum Pi*(hi)^k}$ | Fi (Ton) | Vi (Ton) (Acumulado- Fi) |
|--------|----------|--------|----------------------|---|----------|--------------------------------|
| Piso 1 | 32.32 | 6.5 | 210.11 | 1.0000 | 6.67 | 6.67 |
| Base | 32.32 | | 210.11 | 1.00 | 6.67 | |

Fuente: elaboración propia.

La cortante basal es: $V_y = 6.67$ Ton

Las cortantes basales estáticas del modelo patrón son:

| | | |
|---------|------|------|
| $V_x =$ | 6.67 | Tonf |
| $V_y =$ | 6.67 | Tonf |

Calculo de la cortante basal del modelo con FRP

El coeficiente sísmico en la dirección X es:

$$\underline{ZUCS} = 0.18411$$

R

$$C/R \geq 0.11 \quad 0.39 \text{ OK}$$

Luego, el coeficiente sísmico en la dirección Y es:

$$\underline{ZUCS} = 0.20826$$

R

$$C/R \geq 0.11 \quad 0.42 \text{ OK}$$

Cálculo de la fuerza cortante en la base - Norma E.030 - Numeral 4.5.3

$$F_i = \alpha_i * V \quad \alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=k}^n P_j(h_j)^k}$$

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot \sum P$$

Donde:

- Para T menor o igual a 0.5: k = 1.0
- Para T mayor que 0.5: k = (0.75+0.5 T) ≤ 2.0

Cálculo de k para la dirección X:

$$T_x = 1.062531 \text{ s} \rightarrow \text{entonces } k = (0.75+0.5*T_x) \rightarrow k_x = 1.2813$$

$$T_y = 0.62799 \text{ s} \rightarrow \text{entonces } k = (0.75+0.5*T_y) \rightarrow k_y = 1.0640$$

EL peso sísmico o masa participativa se calcula efectuando un metrado de cargas.

También, se puede estimar por medio de la herramienta computacional SAP2000.

Tabla 21. Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección "x"

| Piso | Pi (Ton) | hi (m) | Pi*(hi)^k (Ton.m) | $\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum P_i(h_i)^k}$ | Fi (Ton) | Vi (Ton) (Acumulado- Fi) |
|--------|----------|--------|----------------------|---|-------------|--------------------------------|
| Piso 1 | 12.71 | 6.5 | 168.90 | 1.0000 | 2.47 | 2.47 |
| Base | 12.71 | | 168.90 | 1.00 | 2.47 | |

Fuente: elaboración propia.

La cortante basal de la dirección X es: $V_x = 2.47 \text{ Ton}$

Tabla 22. Distribución de la fuerza sísmica por nivel en la dirección “Y”

| Piso | Pi (Ton) | hi (m) | Pi*(hi) ^k (Ton.m) | $\alpha^i = \frac{P_i \cdot (h_i)^k}{\sum P_i \cdot (h_i)^k}$ | Fi (Ton) | Vi (Ton) (Acumulado- Fi) |
|--------|----------|--------|---------------------------------|---|----------|--------------------------------|
| Piso 1 | 12.71 | 6.5 | 97.21 | 1.0000 | 2.62 | 2.62 |
| Base | 12.71 | | 97.21 | 1.00 | 2.47 | |

Fuente: elaboración propia.

La cortante basal es: $V_Y = 2.62 \text{ Ton}$

Las cortantes basales estáticas son para el modelo con FRP son:

| | | |
|---------|------|------|
| $V_X =$ | 2.47 | Tonf |
| $V_Y =$ | 2.62 | Tonf |

En las tablas 21 y 22 se observa las fuerzas sísmicas en la base o cortantes basales del modelo patrón y del modelo con FRP.

En seguida se verifica las cortantes de base mediante el software SAP2000.

Tabla 23. Cortantes basales calculados en el software SAP2000 – Modelo Patron

| TABLE: Base Reactions | | | | | |
|-----------------------|-----------|----------|-----------|------------|------------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalFX | GlobalFY | GlobalFZ |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf | Tonf |
| Peso Excel | LinStatic | | 1.89E-13 | 2.351E-14 | 32.3249 |
| SISMO Y-Y | LinStatic | | 5.099E-13 | -6.3523 | -1.094E-12 |
| SISMO X-X | LinStatic | | -6.3523 | -5.869E-15 | -1.577E-11 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24. Cortantes basales calculados en el software

| TABLE: Base Reactions | | | | | |
|-----------------------|-----------|----------|------------|------------|------------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalFX | GlobalFY | GlobalFZ |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf | Tonf |
| Peso Excel | LinStatic | | 2.291E-15 | 3.995E-15 | 12.7121 |
| SISMO Y-Y | LinStatic | | -2.531E-14 | -2.5201 | -1.954E-13 |
| SISMO X-X | LinStatic | | -2.3717 | -1.936E-13 | -2.528E-13 |

Tabla 25. Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP.

| CORTANTES BASALES | Cortantes Método Manual | | Cortantes por SAP2000 | |
|-------------------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|
| | X (Tonf) | Y (Tonf) | X (Tonf) | Y (Tonf) |
| Modelo Patrón | 6.67 | 6.67 | -6.3523 | -6.3523 |
| Modelo con FRP | 2.47 | 2.62 | -2.3717 | -2.5201 |

Fuente: elaboración propia.

Interpretación:

En la tabla 25 se muestra la comparación de las fuerzas cortantes de los dos modelos estructurales, en donde se evidencia la variación de las solicitaciones sísmicas. La baja fuerza cortante en la base con el sistema estructural FRP, es debido al peso o masa participativa. Estos valores se van a ver reflejados en los resultados de los desplazamientos y derivas.

Observe los resultados del cálculo de la cortante basal de manera manual y en el programa, son valores muy parecidos, por tanto, se concluye que el cálculo efectuado está correcto. Por consiguiente, se procede a calcular la fuerza cortante sísmica dinámica en la base.

II. Análisis Dinámico

Este tipo de análisis estructural se calcula mediante un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por $S_a=(ZUCS/R)*g$. Dicho espectro, es una relación entre el **Periodo (T)** de vibración y el factor $(ZUCS/R)*g$, contiene factores sísmicos que corresponden a la estructura en análisis, Espectro de diseño según norma E.030: Se calcula con la expresión

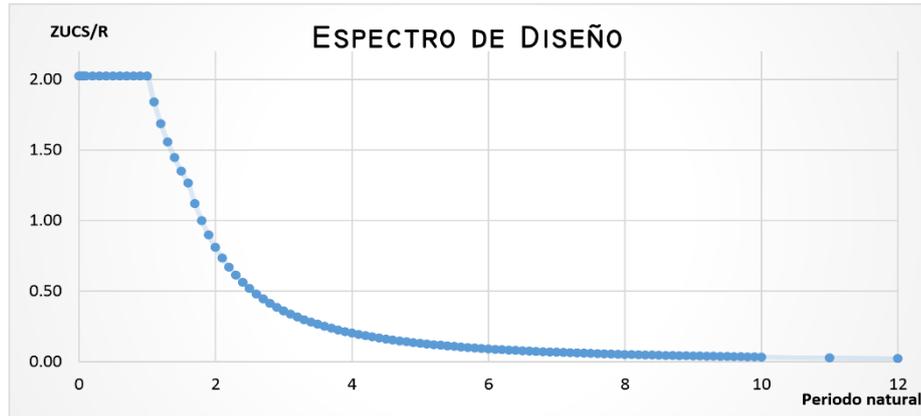


Figura 35. Espectro de Pseudo aceleraciones X - Y

Tabla 26. Periodos n para el cálculo del espectro E030

| T | C | ZUCS/R |
|------|------|--------|
| 0 | 2.50 | 0.206 |
| 0.01 | 2.50 | 0.206 |
| 0.02 | 2.50 | 0.206 |
| 0.03 | 2.50 | 0.206 |
| 0.04 | 2.50 | 0.206 |
| 0.05 | 2.50 | 0.206 |
| 0.06 | 2.50 | 0.206 |
| 0.07 | 2.50 | 0.206 |
| 0.08 | 2.50 | 0.206 |
| 0.09 | 2.50 | 0.206 |
| 0.1 | 2.50 | 0.206 |
| 0.2 | 2.50 | 0.206 |
| 0.3 | 2.50 | 0.206 |
| 0.4 | 2.50 | 0.206 |
| 0.5 | 2.50 | 0.206 |
| 0.6 | 2.50 | 0.206 |
| 0.7 | 2.50 | 0.206 |
| 0.8 | 2.50 | 0.206 |
| 0.9 | 2.50 | 0.206 |
| 1 | 2.50 | 0.206 |
| 1.1 | 2.27 | 0.188 |
| 1.2 | 2.08 | 0.172 |
| 1.3 | 1.92 | 0.159 |
| 1.4 | 1.79 | 0.147 |
| 1.5 | 1.67 | 0.138 |
| 1.6 | 1.56 | 0.129 |
| 1.7 | 1.38 | 0.114 |
| 1.8 | 1.23 | 0.102 |
| 1.9 | 1.11 | 0.091 |
| 2 | 1.00 | 0.083 |
| 2.1 | 0.91 | 0.075 |
| 2.2 | 0.83 | 0.068 |
| 2.3 | 0.76 | 0.062 |
| 2.4 | 0.69 | 0.057 |
| 2.5 | 0.64 | 0.053 |
| 2.6 | 0.59 | 0.049 |
| 2.7 | 0.55 | 0.045 |
| 2.8 | 0.51 | 0.042 |
| 2.9 | 0.48 | 0.039 |
| 3 | 0.44 | 0.037 |
| 3.1 | 0.42 | 0.034 |
| 3.2 | 0.39 | 0.032 |
| 3.3 | 0.37 | 0.030 |
| 3.4 | 0.35 | 0.029 |
| 3.5 | 0.33 | 0.027 |
| 3.6 | 0.31 | 0.025 |
| 3.7 | 0.29 | 0.024 |
| 3.8 | 0.28 | 0.023 |
| 3.9 | 0.26 | 0.022 |

Fuente: elaboración propia.

El espectro será el mismo para ambas direcciones debido a las condiciones sísmicas iguales:

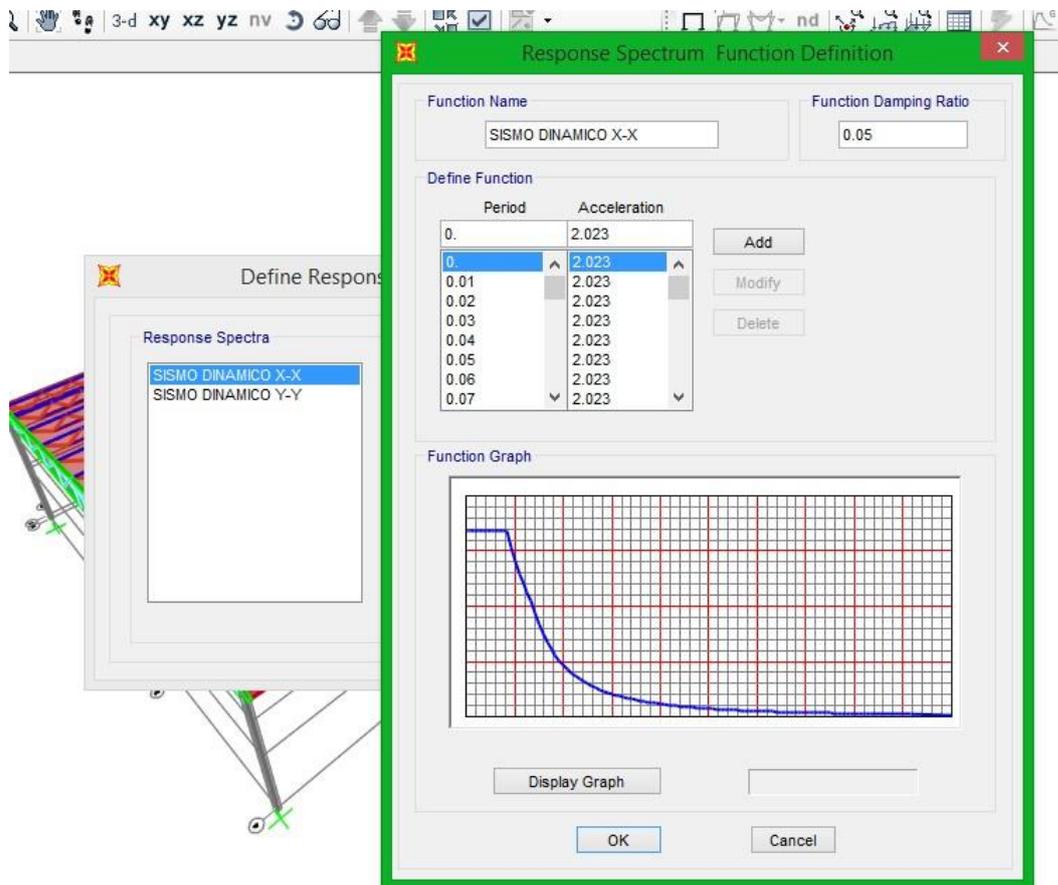


Figura 36. Espectro de Pseudo aceleraciones introducido en SAP2000

Tabla 27. Fuerzas cortantes dinámicas en la base – Modelo Patrón

| TABLE: Base Reac | | | | | |
|--------------------|-------------|----------|--------------|--------------|------------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalF X | GlobalF Y | GlobalFZ |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf | Tonf |
| Peso Excel | LinStatic | | 1.89E-13 | 2.351E14 | 32.3249 |
| SISMO DINAMICO X-X | LinRespSpec | Max | 6.3343 | 0.1127 | 4.649E-06 |
| SISMO DINAMICO Y-Y | LinRespSpec | Max | 0.1127 | 5.9641 | 0.00003412 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 28. Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP

| TABLE: Base Reactions | | | | | |
|-----------------------|-------------|----------|-----------|--------------|------------|
| OutputCase | CaseType | StepType | GlobalFX | GlobalF Y | GlobalFZ |
| Text | Text | Text | Tonf | Tonf | Tonf |
| Peso Excel | LinStatic | | 2.291E-15 | 3.995E15 | 12.7121 |
| SISMO DINAMICO X-X | LinRespSpec | Max | 2.3697 | 0.0463 | 2.932E-06 |
| SISMO DINAMICO Y-Y | LinRespSpec | Max | 0.0463 | 2.3612 | 0.00002254 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 29. Cortantes Basales: Modelo Patrón vs Modelo con FRP

| CORTANTES BASALES | Cortantes por SAP2000 | |
|-------------------|-----------------------|----------|
| | X (Tonf) | Y (Tonf) |
| Modelo Patrón | 6.3343 | 5.9641 |
| Modelo con FRP | 2.3697 | 2.3612 |

Fuente: elaboración propia.

Interpretación:

Al comparar las cortantes sísmicas tanto del análisis estático y dinámico, se observa que las fuerzas cortantes sísmicas estáticas son ligeramente mayores, por tanto, el cálculo de los desplazamientos y derivas se efectuarán con las cortantes estáticas y la carga de viento, en una combinación de carga de tipo envolvente, también se puede observar que para el modelo patrón se tiene mayor cortante basal a comparación del modelo con FRP, teniendo estas una diferencia del 64.16% en "X" y del 60.41% en "Y".

Tabla 30. Combinación de cargas

| TABLE: Combination Definitions | | | | |
|--------------------------------|------------|----------------|----------------|--------------|
| Combo Name | ComboType | CaseType | Case Name | Scale Factor |
| Text | Text | Text | Text | Unit less |
| 0.9D+1.3W | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D+1.3W | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D+1.3W | | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 0.9D-1.3W | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D-1.3W | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D-1.3W | | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 0.9D+1.0E X | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D+1.0E X | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D+1.0E X | | Linear Static | SISMO X-X | |
| 0.9D+1.0E Y | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D+1.0E Y | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D+1.0E Y | | Linear Static | SISMO Y-Y | |
| 0.9D-1.0E Y | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D-1.0E Y | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D-1.0E Y | | Linear Static | SISMO Y-Y | |
| 0.9D-1.0E X | Linear Add | Linear Static | DEAD | |
| 0.9D-1.0E X | | Linear Static | SOBRE CARGA P. | |
| 0.9D-1.0E X | | Linear Static | SISMO Y-Y | |
| 1.0W+1.0E X | Linear Add | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 1.0W+1.0E X | | Linear Static | SISMO X-X | |
| 1.0W+1.0E Y | Linear Add | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 1.0W+1.0E Y | | Linear Static | SISMO Y-Y | |
| 1.0W-1.0E X | Linear Add | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 1.0W-1.0E X | | Linear Static | SISMO X-X | |
| 1.0W-1.0E Y | Linear Add | Linear Static | CARGA VIENTO | |
| 1.0W-1.0E Y | | Linear Static | SISMO Y-Y | |
| ENVOLVENTE | Envelope | Response Combo | 0.9D-1.0E X | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 0.9D-1.0E Y | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 0.9D-1.3W | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 0.9D+1.0E X | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 0.9D+1.0E Y | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 0.9D+1.3W | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 1.0W-1.0E X | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 1.0W-1.0E Y | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 1.0W+1.0E X | |
| ENVOLVENTE | | Response Combo | 1.0W+1.0E Y | |

Fuente: elaboración propia.

1.1.2 Desplazamientos en el techo de la estructura (Numeral: 5.1 y 5.2 – E.030)

En las siguientes figuras se muestran los máximos desplazamientos en el techo de la estructura, debido a la incidencia de las solicitaciones del análisis estructural con la combinación de cargas de tipo envolvente, con la finalidad de obtener el máximo valor. El desplazamiento se tomará de un punto de control.

Desplazamientos Elásticos de la estructura Patrón

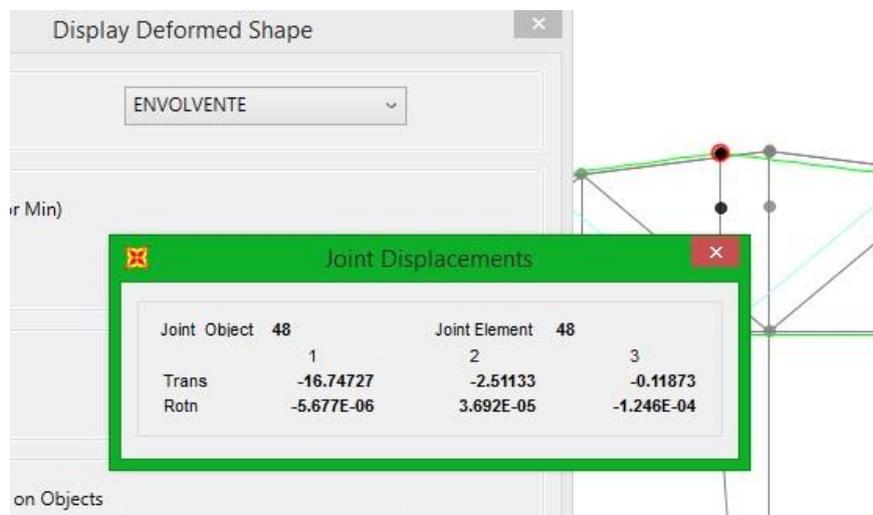


Figura 37. Desplazamiento de techo en mm **Eje A** de la estructura patrón

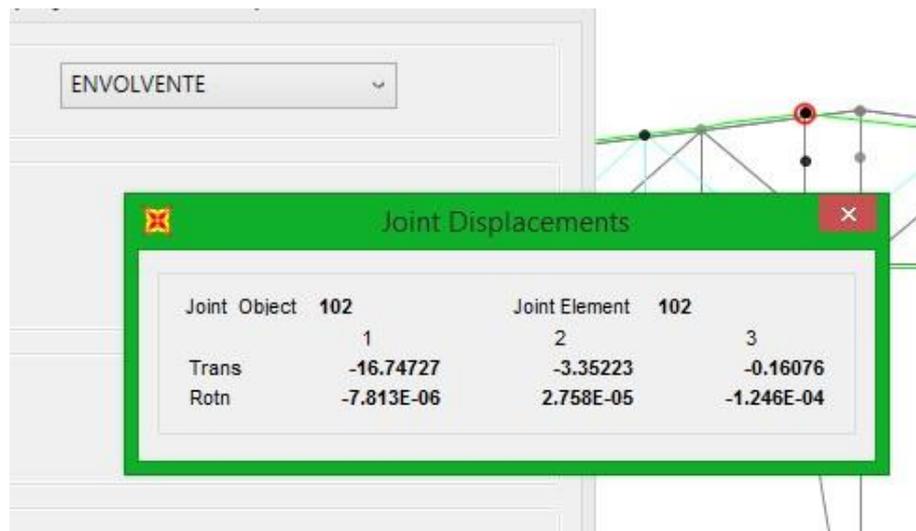


Figura 38. Desplazamiento de techo en mm **Eje B** de la estructura patrón

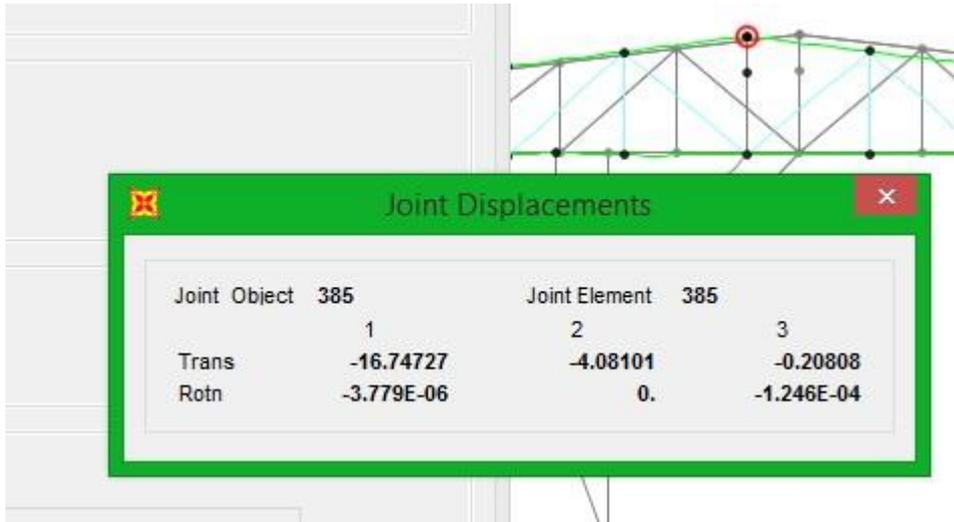


Figura 39. Desplazamiento de techo en mm **Eje C** de la estructura patrón

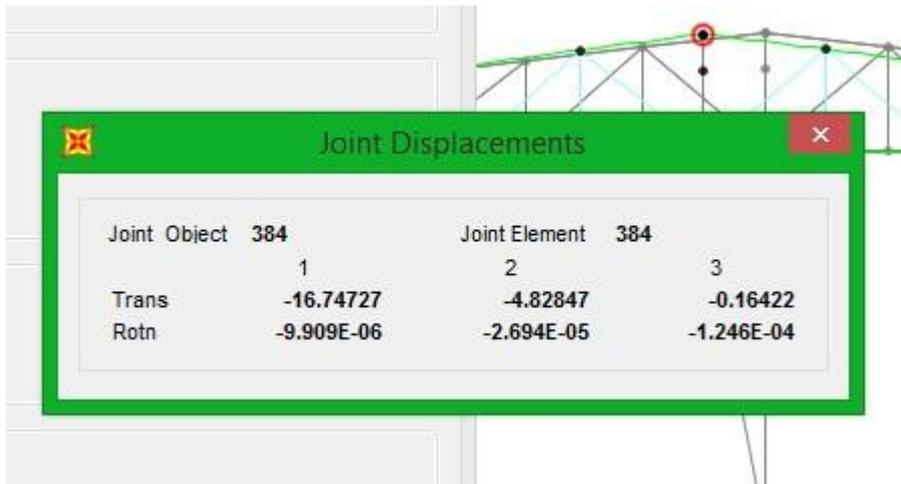


Figura 40. Desplazamiento de techo en mm **Eje D** de la estructura patrón

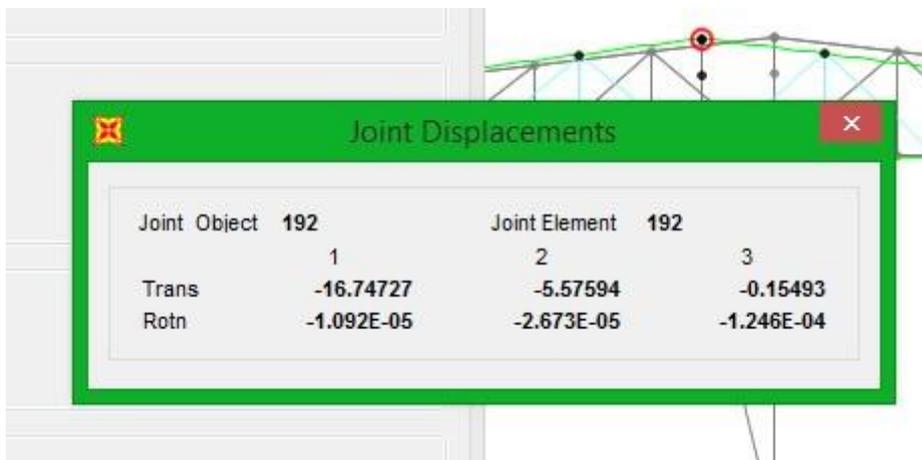


Figura 41. Desplazamiento de techo en mm **Eje E** de la estructura patrón

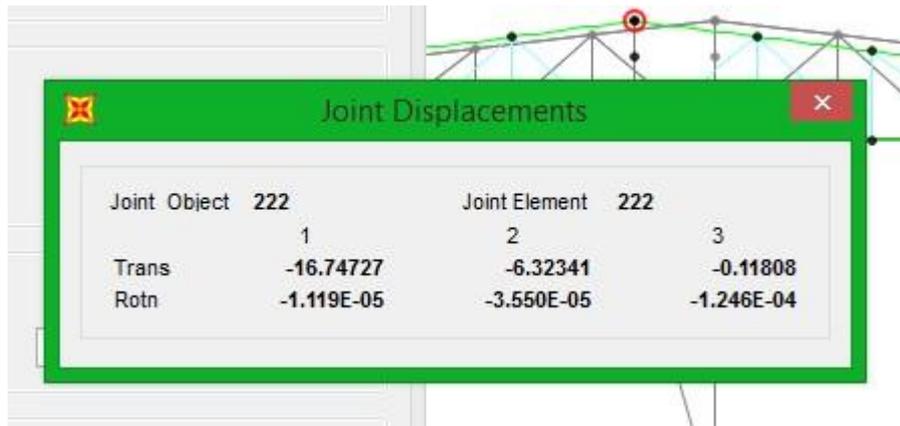


Figura 42. Desplazamiento de techo en mm Eje F de la estructura patrón

Desplazamientos Elásticos de la estructura con FRP

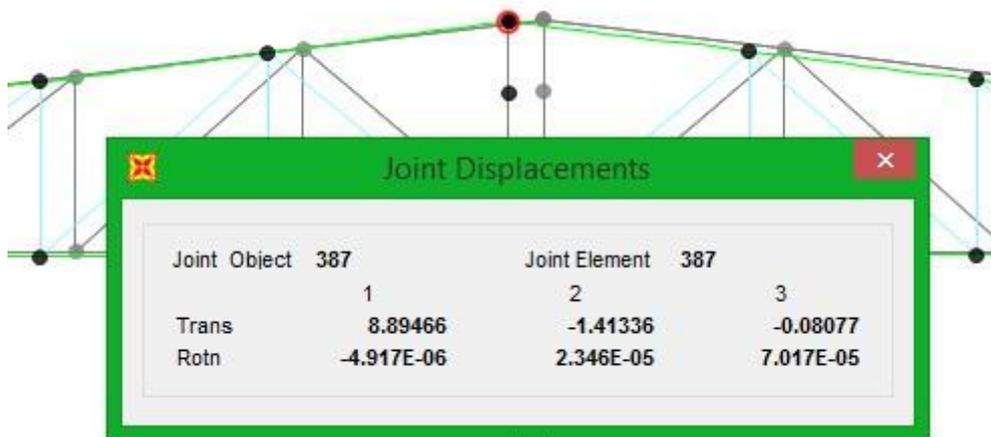


Figura 43. Desplazamiento de techo en mm Eje A de la estructura con FRP



Figura 44. Desplazamiento de techo en mm Eje B de la estructura con FRP

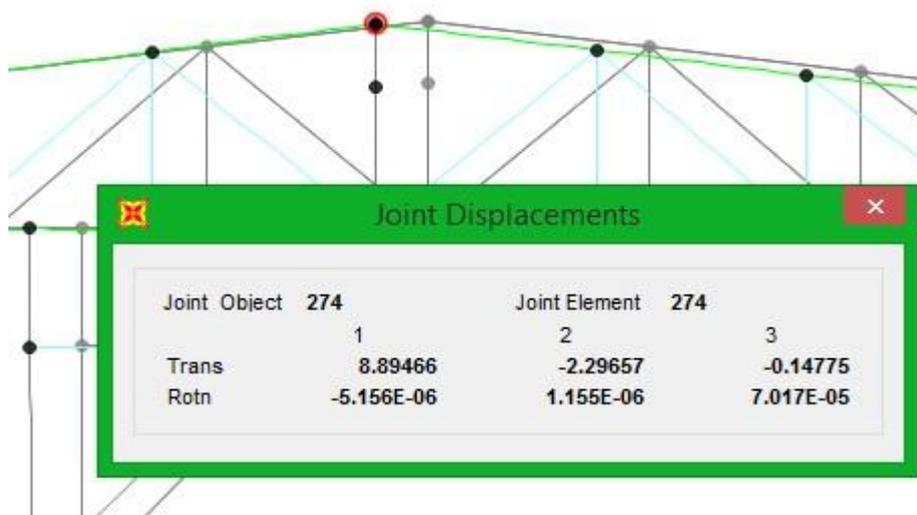


Figura 45. Desplazamiento de techo en mm Eje C de la estructura con FRP

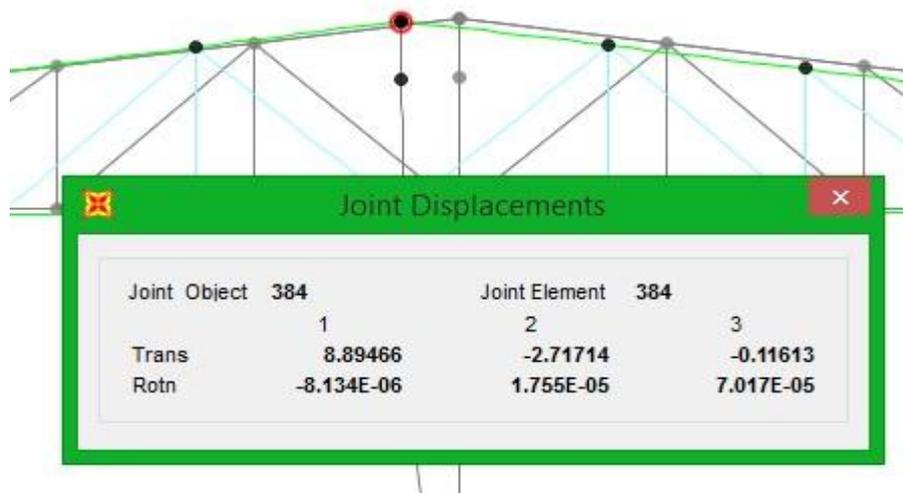


Figura 46. Desplazamiento de techo en mm Eje D de la estructura con FRP

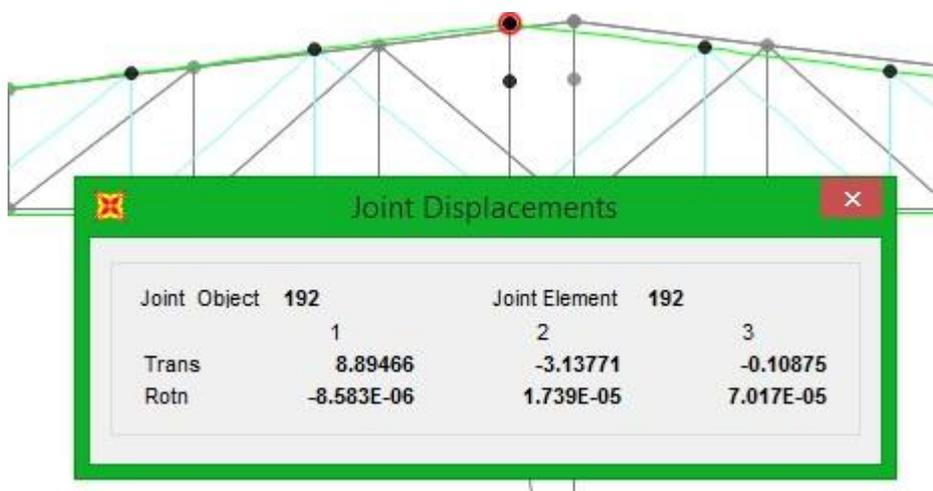


Figura 47. Desplazamiento de techo en mm Eje E de la estructura con FRP

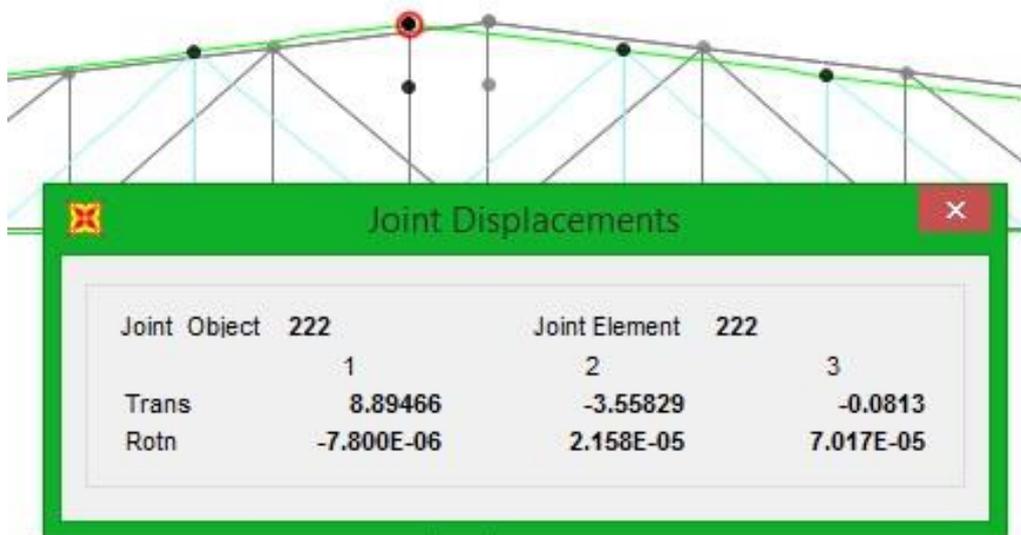


Figura 48. Desplazamiento de techo en mm **Eje F** de la estructura

En las siguientes tablas se muestra un resumen de los desplazamientos tanto del modelo patrón como del modelo con FRP, consecuentemente se calculará el promedio para cada dirección.

Tabla 31. Promedio de desplazamientos – modelo Patrón

| TABLE: Joint Displacem | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Joint | OutputCase | CaseType | StepType | U1 | U2 | U3 |
| Text | Text | Text | Text | mm | mm | mm |
| 48 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 2.510969 | 0.012462 |
| 102 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 3.351771 | 0.01885 |
| 385 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 4.080466 | 0.02597 |
| 384 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 4.827846 | 0.020154 |
| 192 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 5.575225 | 0.018777 |
| 222 | ENVOLVENTE | Combination | Max | 16.74727 | 6.322605 | 0.013366 |

Fuente: elaboración propia.

| | | |
|-----------|----------|------------|
| PROMEDIO | 16.74727 | 4.44481367 |
| DIRECCION | X | Y |

Tabla 32. Promedio de desplazamientos – modelo FRP.

| TABLE: Joint Displacem | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|----------|----------|---------|----------|
| Joint | OutputCase | CaseType | StepType | U1 | U2 | U3 |
| Text | Text | Text | Text | mm | mm | mm |
| 387 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 1.41204 | 0.017677 |
| 386 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 1.88528 | 0.026788 |
| 274 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 2.29543 | 0.036415 |
| 384 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 2.7160 | 0.028606 |
| 192 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 3.1367 | 0.026589 |
| 222 | ENVOLV. | Combination | Max | 8.894665 | 3.55740 | 0.018962 |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 33 se detallan los resultados de las derivas inelásticas resultantes del análisis estructural, teniendo como deriva limite 0.010 para estructuras de acero según lo establecido en la norma E.030 2018. Estas derivas y desplazamientos inelásticos se calcularon de acuerdo al numeral 5.1 de la norma E.030.

Tabla 33. Desplazamientos Inelásticos

| DESCRIPCIÓN | DESPLAZAMIENTO ELASTICO (mm) | | FACTOR DE AMPLIFICACIÓN (NUMERAL 5.1 E.030) | DESPLAZAMIE INELASTICO (mm) | |
|----------------|------------------------------|-------|---|-----------------------------|-------|
| | X | Y | R = 6 | X | Y |
| MODELO PATRÓN | 16.747 | 4.445 | 4.5 | 75.37 | 20.01 |
| MODELO CON FRP | 8.895 | 2.501 | 4.5 | 40.03 | 11.26 |

Fuente: elaboración propia.

| DESCRIPCIÓN | DERIVAS INELASTICAS | | LIMITE |
|---------------|---------------------|------------|--------|
| DIRECCION | X | Y | |
| MODELO PATRÓN | 0.011595385 | 0.00307846 | 0.01 |
| MODELO FRP | 0.006158462 | 0.00173231 | 0.01 |

Tabla 30. Desplazamientos

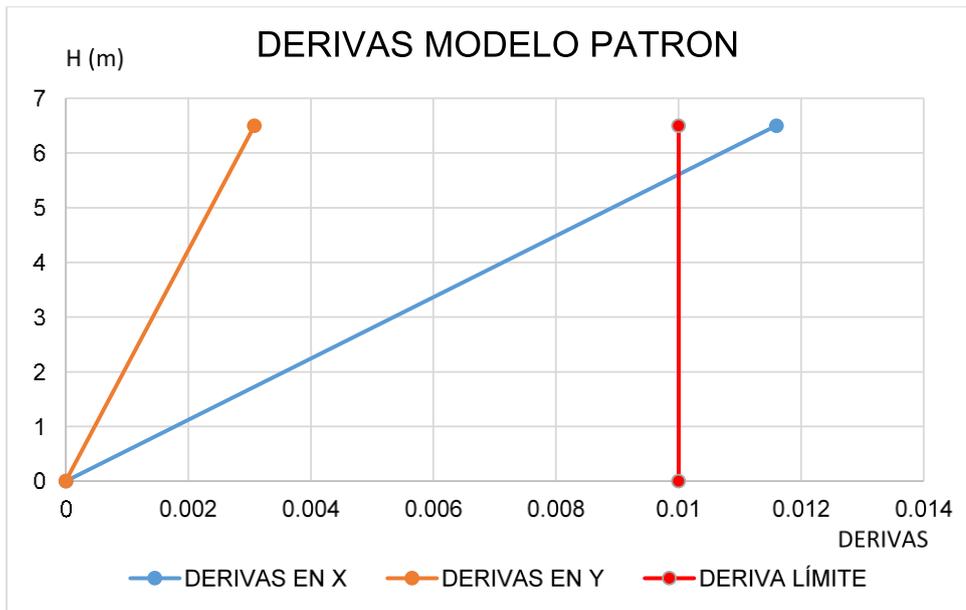


Figura 49. Derivas con modelo Patrón.

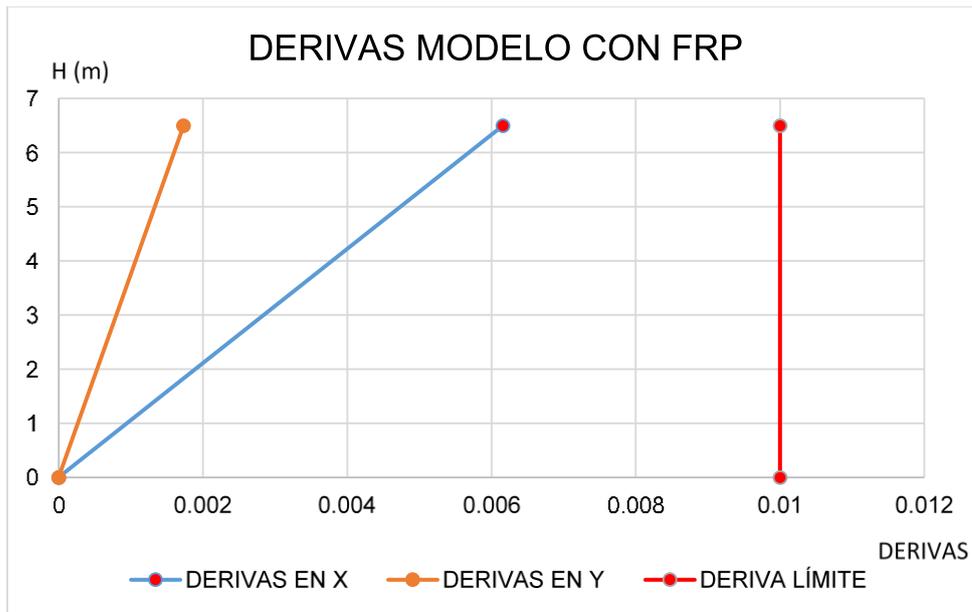


Figura 50. Derivas modelo con FRP

Interpretación:

En las figuras 49 y 50 Se observa la comparación de las derivas respecto a la deriva límite establecida, en donde se evidencia que la estructura con material FRP presenta menores derivas que la estructura con acero A36. Teniendo estas una diferencia del 46.88% en “X” y del 43.72% en “Y”, esto debido a la diferencia de peso que tienen estos materiales, ya que a mayor peso la fuerza cortante basal es mayor.

Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta con FRP.

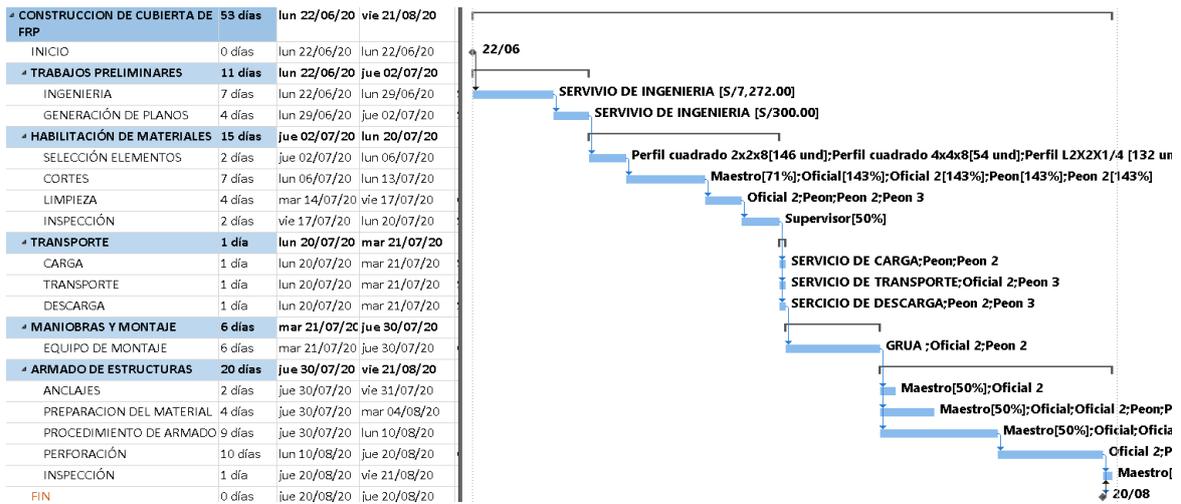


Figura 51. Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta con FRP

Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta metálica.

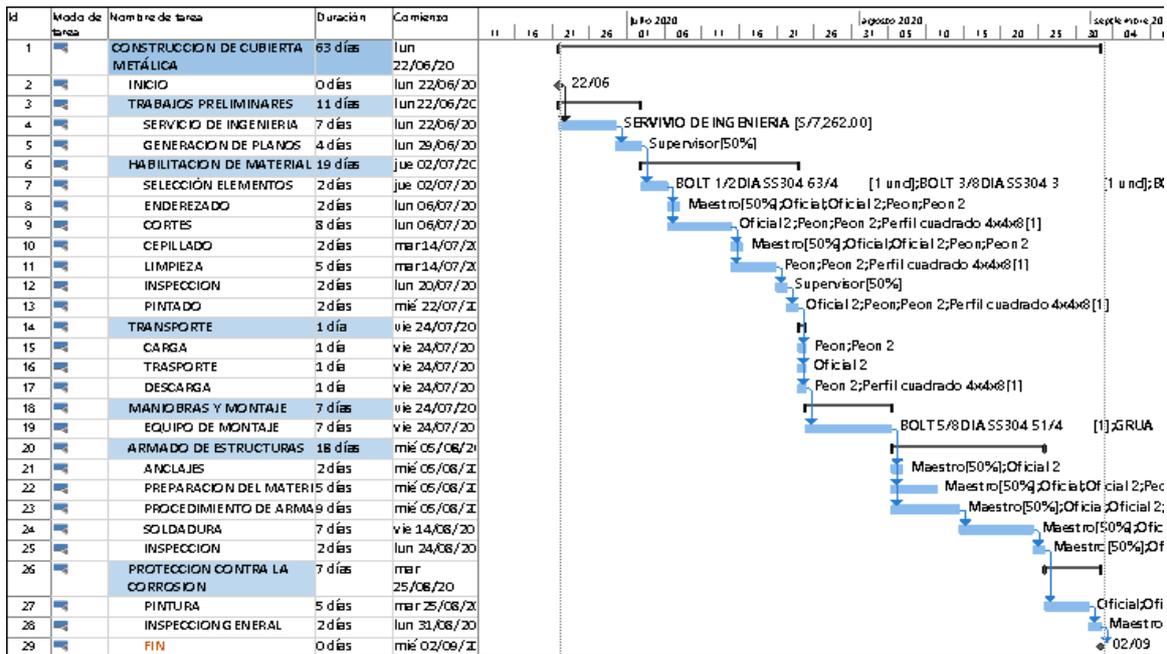


Figura 52. Procedimiento constructivo y tiempo de ejecución de la cubierta metálica

Interpretación:

En las figuras 51 y 52 se logra interpretar que para la ejecución de la cubierta con FRP se necesita menos tiempo de ejecución a comparación de la cubierta metálica, teniendo estas una diferencia de 10 días, esto se debe a que la cubierta con FRP necesita menos días en la partida de “habilitación de material”

Costos de ejecución de la cubierta FRP y Metálico



Figura 53. Costo de ejecución de la cubierta con FRP.



Figura 54. Costo de la ejecución de la cubierta metálica.

Interpretación:

En la figura 53 y 54 se logra interpretar que el costo de ejecución para la cubierta con FRP es mayor en comparación a la de la cubierta metálica, esto se debe a que los materiales FRP son más costosos al momento de conseguirlos tanto así que se tiene una diferencia del 33.37% en sus costos. Las únicas ventajas que nos da el FRP es el tiempo de ejecución, dándonos hasta un 15.87% de holgura en la realización de la obra, y no tiene costo de mantenimiento ya que es muy complicado que entre a corrosión.

V. DISCUSIÓN

- Según los resultados obtenidos para el indicador de análisis estructural, para los esfuerzos axiales, torsión y momento tenemos resultados de 1675.34 kgf, 14.15kgf y 928.07 kg.m respectivamente, esto para la estructura con cubierta metálica, y para la estructura con FRP se tiene resultados de 993.99 Kgf, 5.36Kgf y 368 Kg.m respectivamente. En comparación a lo estudiado por Vargas en su investigación del 2017, los valores obtenidos para los esfuerzos axiales y momentos tiene como resultado 2471.54 Kgf y 3331.49 Kg.m. Esto tiene relación con nuestros resultados obtenidos ya que nuestra muestra patrón presenta una mayor fuerza axial esto es debido a su mayor peso. Para Arguello en su investigación del 2010 nos indica que los resultados con estructuras reforzadas con FRP tiene un mejor funcionamiento al momento de evaluarlo ante sollicitaciones sísmicas dándonos así menores esfuerzos en los elementos. Esto concuerda con nuestra investigación ya que los esfuerzos en la estructura diseñada con FRP son considerablemente menores en comparación con la muestra patrón. Esto es debido a que las estructura con cubierta metálica tiene más peso.
- Según los resultados obtenidos para el indicador de evaluación sísmica, la distorsión obtiene valores, para la muestra patrón, de 0.015 (X) y 0.003 (Y), con la muestra de FRP las distorsiones obtenidas son de 0.0061 (X) y 0.00173 (Y), finalmente para la cortante basal las fuerzas en la muestra patrón son de 6.33 Ton (X) y 5.96 Ton (Y), para la estructura con FRP las fuerzas son de 2.37 Ton y 2.36 Ton, “X” y “Y” respectivamente. En comparación con Larico en su investigación del 2015 nos indica que las distorsiones máximas obtenidas son de 0.006 (X) y 0.003 (Y) y para Vargas en su investigación del 2017, los valores obtenidos de la cortante basal son de 27.36 Ton para ambas direcciones. esto tiene relación con nuestra investigación ya que la deriva máxima se da en el eje “X”, con la diferencia en que nuestra investigación la deriva en el eje X sobre paso el límite máximo establecido por la norma sismorresistente E030 y con la cortante basal la muestra patrón presenta un mayor resultado esto es debido a su mayor peso. Para Morales en su investigación del 2008 nos indicas que los elementos evaluados con FRP tienden a tener un mejor comportamiento a comparación de otros materiales ya que son más efectivos al momento de ser evaluado por sollicitaciones de viento y sismo.

Esto concuerda con nuestros resultados ya que las derivas que se obtienen para la estructura con FRP son menores a comparación con la muestra patrón, estos resultados son de 0.0061 (X) y 0.00173 (Y), ambas cumpliendo la distorsión máxima establecida por la norma sismorresistente E030 (0.01) y la fuerza cortante para la estructura diseñada con FRP es considerablemente menor en comparación con la muestra patrón, al ser menor la cortante basal los esfuerzos en los elementos, desplazamientos y derivas son menores.

- Según los resultados obtenidos para los indicadores Proceso constructivo y tiempo de ejecución podemos decir que para la estructura con FRP el tiempo de ejecución es menor hasta en un 15.17% en comparación a la estructura con cubierta metálica. En comparación a lo estudiado por Chapulo en su investigación del 2014, nos dice que las estructuras con cubiertas metálicas tienen una compleja ejecución pues se necesita mayores materiales y mayor mano de obra para poder construirlas, pero a pesar de ser complejas en su ejecución estas son las más económicas que se tiene en el mercado ya que sus piezas están industrializadas haciendo que sea más fácil su elaboración. También con lo investigado por Bendezú en 2013 nos dice que las estructuras reforzadas con FRP llegan a tener un tiempo menor de ejecución ya que se necesita menos implementación de materiales y no hay la necesidad de hacer ciertas actividades a comparación de la cubierta metálica, la desventaja que nos da es que el FRP es un material poco utilizado haciendo que su elaboración sea más cara. Los resultados de nuestros antecedentes tienen relación al compararlos con nuestros resultados ya que la estructura con FRP nos da mayor facilidad al momento de llevar a cabo su construcción.
- Según los resultados obtenidos para los indicadores de costo de ejecución y material podemos decir que para la estructura con FRP el monto calculado es mayor hasta en un 33.37% en comparación con a la estructura con cubierta metálica, este último mencionado con un costo de \$/66,240.40 y la de FRP con un costo del \$/99,462.80. En paralelo con lo que nos dice Gavidia y Subía el monto de ejecución para una estructura con cubierta metálica es más costoso ya que se necesita emplear más materiales y mano de obra para su elaboración dándonos

así un costo de \$/102.875.06. también con lo investigado por Morales en el año 2008 nos dice que las estructuras con FRP tienen un costo de ejecución más alto a comparación de cualquier estructura convencional ya que los materiales a conseguir para este tipo de estructura no son tan convencionales de adquirir y tienen un proceso tedioso de elaboración. Los resultados obtenidos en nuestros antecedentes tienen relación con nuestros resultados ya que la estructura con FRP tiene un mayor costo ejecución a comparación de la estructura con cubierta metálica.

V.CONCLUSIONES

- Se determinó que la comparación del análisis estructural entre la estructura metálica y FRP tiene resultados muy distintos, ya que para la estructura metálica tenemos esfuerzos considerablemente más elevados en comparación del FRP, teniendo así diferencias del 40.66%, 62.12% y 60.33% (Axial, Torsión y Momento respectivamente), ver figuras 61, 62 y 63. Esto comprobó que el uso del FRP ante las estructuras metálicas tiene un mejor comportamiento estructural ayudándonos a que sus esfuerzos en los elementos sean menores.
- Se determinó que la comparación del análisis sísmico entre la estructura metálica y FRP tienen resultados diferentes, haciendo que la estructura metálica no cumpla con el límite de distorsión establecida por la norma, esto es todo lo contrario con la estructura de FRP, ya que hace que su distorsión este por debajo del límite hasta en un 38.42% (X) y 82.68% (Y), ver figura 78 y 79. Para la cortante basal el mayor resultado se da en la estructura metálica haciendo que tenga mayores esfuerzos en sus elementos. Esto comprobó que la aplicación del FRP a estructuras metálicas tiene un mejor comportamiento sísmico ayudándonos a que tenga el menor daño posible.
- Se determinó que la comparación entre el proceso constructivo de la estructura metálica y FRP tienen resultados diferentes, ya que para la estructura metálica necesita más tiempo de ejecución, esto se debe a que se necesita más días en la habilitación de materiales. Esto comprobó que la aplicación del FRP a estructuras metálicas mejora el proceso constructivo de la estructura ayudándonos hasta en un 15.17% en su ejecución.
- Se determinó que la comparación entre el costo de la estructura metálica y FRP tienen resultados distintos, esto se debe a que la estructura con FRP es más cara de realizar ya que sus materiales son más difíciles de conseguir en el mercado y su poca falta de conocimiento hace que se necesita gente especializada en el tema

para poder ejecutarlo. Esto comprobó que la aplicación del FRP a estructuras metálicas no mejora el costo de la estructura haciendo que aumente hasta en un 33.37% a comparación de una estructura convencional.

- Se determinó que la comparación entre la estructura metálica y FRP tiene buenos resultados para el FRP en los indicadores “análisis estructural”, “análisis sísmico” y “proceso constructivo”, pero para el indicador de “costos” los mejores resultados nos das para la estructura con cubierta metálica. Esto nos indicaría la opción más óptima es construir una estructura con cubierta de FRP.

VII. RECOMENDACIONES

- El Estado de Perú debería considerar la posibilidad de establecer una sección dentro del NTP. Esto serviría como guía, ya que no hay normas específicas para estos tipos de diseño y análisis estructurales con el material de FRP.
- Las estructuras metálicas son sensibles a la alta humedad debido a su oxidación acelerada, como ocurre en las regiones costeras del territorio peruano. Es por ello que se sugiera que las estructuras metálicas se construyan con material FRP ya que nos evitaría el costo de mantenimiento.
- Fomentar la evaluación del análisis y diseño de estructuras FRP en naves industriales utilizando normativas ya que este tipo de estudios son raros en nuestro entorno.
- En estudios futuros, conviene tener en cuenta que este sistema se puede implementar para su uso en viviendas como medida de protección para cubiertas de luz media, ya que contará con una cubierta liviana, pero esta aplicación necesita ser analizada en detalle.

REFERENCIAS

1. ACI 440R-96 State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, 1996.
2. ANÁLISIS de estructuras metálicas por José Flores [et al.]. Madrid: Antonio Madrid Vicente Ediciones, 2011. 356 pp.
ISBN: 9788496709638
3. ASM Handbook, Vol 13-Corrosion. 9th edition. ASM International, 1992.
4. ASME-RTP-1 Reinforced Thermoset Plastic Corrosion-Resistant Equipment, The American Society of Mechanical Engineers (2017), New York: 2017.
5. ASTM D4923-01, Standard Specification for Reinforced Thermosetting Plastic Poles (Withdrawn 2010), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001. Fuente: www.astm.org
6. ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
Fuente: www.astm.org
7. ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
Fuente: www.astm.org
8. ASTM G1-03, Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Fuente: www.astm.org
9. ASTM G50-10. Standard Practice for Conducting Atmospheric Corrosion Tests on Metals, 2015.
10. AWS D1.1. Código para soldadura estructural, 2020.
11. BENAVENT Serra, J. Diseño De Ensayo Para El Estudio De Propiedades Mecánicas De Barras FRP. Universidad Politécnica de Valencia, 2012.
12. BERMUDEZ, Carlos. Curso Básico de Estructuras Metálicas. Universidad Nacional de Colombia, 2005. 77pp
13. BUSINESS School. 2019. Recursos en la Gestión de Proyectos: más allá de los recursos humanos y materiales. [En línea] 2019. [Citado el: 20 de mayo de 2020.] <https://www.obs-edu.com/>.

14. GARCÍA Chambilla, Bleger. Efectos de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Puno. Tesis (Ingeniero civil). Puno: Universidad Nacional del altiplano Perú, 2017
15. GABRIEL Huamán, Yurico. Diseño de un proceso de fabricación de estructura metálica en la empresa metal mecánica Fixer servicios generales SAC. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
16. CIEZA, E. & LAZARTE, B. Análisis del diseño sísmico estructural del techo metálico de la losa multideportiva de Aija, Ancash, 2018
17. CHAPULA, S. Procedimiento constructivo con estructuras metálicas. Tesis (Ingeniero civil). Universidad Autónoma de México, 2014. 8pp
18. CORZO, D & Gálvez Y. Comparación de diseños estructurales de edificaciones metálicas con edificaciones de concreto armado para determinar el diseño más rentable en la construcción de viviendas multifamiliares (Ingeniero Civil). Lima Universidad de San Martín de Porres, 2017.
19. CRUZ, Carlos, FIGUEROA, Pablo y HERNANDEZ, Carlos. Estructuración, análisis y diseño estructural de elementos de techo con perfiles metálicos utilizando el Método LRFD. Trabajo de grado (Título de Ingeniero Civil). San Salvador: Universidad de El Salvador, 2012.
20. EUROCOMP Design Code and Handbook, Structural Design of Polymer Composites, First Edition, Chapman & Hall, 2005, pp. 138-139. ISBN: 0-203- 78337-9
21. FIB BULLETIN 40, 2007. FRP Reinforcement in RC Structures. Technical Report
22. GABRIEL Huamán, Yurico. Diseño de un proceso de fabricación de estructura metálica en la empresa metal mecánica Fixer servicios generales SAC. Tesis (Ingeniero mecánico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
23. GANGONE, M. Evaluation of frp rebar reinforced concrete bridge deck superstructure, 2007.

24. IBORRA, M, Estudio Del Fenómeno De La Adherencia En El Hormigón Armado Con Barras Poliméricas. Universidad Politécnica de Valencia, 2009.
25. ISO 15686:2011, *Buildings and constructed assets, service life planning*.2011.
26. LARICO Quispetupac, José. Análisis y diseño en acero de una nave industrial con dos puentes grúa. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa, Facultad de Ingeniería, 2015. 321pp.
27. LEÓN, Lucy y VALDERRAMA, Santiago. Técnicas e instrumentos para la obtención de datos en la investigación científica. Perú: Editorial San Marcos, 2009. pág. 176.
ISBN:9789972386961.
28. MEMDOZA, J y CASTRO, P. Credibility of concepts and models about service life of concrete structures in the face of the effects of the global climatic change. A critical review. *Materiales de construcción*, 2009.pp. 117-124.
29. ORIHUELA, J. & DÁVILA, R. Cálculo y Diseño Estructural de una Nave Industrial aplicando la Normativa AISC, en la Ciudad de Juliaca, Provincia de San Román. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2016.
30. PÉREZ.M. Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona, 2014.
ISBN: 978-84-941872-9-2
31. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. 2017. Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. 6° ed. GlobalStandard, 2017. 726 pp.
ISBN: 978-1-62825-194-4.
32. RAM, R. Tipirneni Characterization of thermal and Electrical Properties of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites, 2008.
33. REVISTA Technological platform for the natural hazard monitoring in the ocensa pipeline System. Piura, (8). Julio 2015
ISSN 2346-4119

34. REVISTA El portulano de la ciencia. España 3(19), enero 2008
ISSN: 1405-9207
35. REVISTA del instituto de investigación [en línea]. Lima: UNMSM, 2003
[fecha de consulta: 11 de junio de 2020].
Disponible en
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v06_n11/material_corrosion.htm
ISSN: 1682 – 3087
36. SILVA, T. Como estimar a vida util de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade. II Workshop sobre Durabilidad de las Construcciones, Sao José dos Campos, Brasil, 2001.pp. 133-143.
37. SOUZA, M. Perfis pultrudados de plástico reforçado com fibra de vidro aplicados à estrutura de um banco de capacitores de subestação de energia eléctrica. Universidade federal de minas gerais, 2007.
38. Instituto Superior de Relaciones Internacionales. Estructura del proyecto de investigación. [En línea] 27 de enero de 2017. [fecha de consulta: 14 de mayo de 2020.] <http://www.isri.cu/content/estructura-del-proyecto-de-investigacion>.
39. METODO LRFD. [Mensaje en un blog]. Lima: Cortez, G. y Sánchez, B. (26 de noviembre de 2016). [Fecha de consulta: 27 de junio de 2020]. Disponible en [http:// es.scribd.com/document/273108433/Método-LRFD](http://es.scribd.com/document/273108433/Método-LRFD)
40. MCCORMAC, Jack y CSERNAK, Stephen. Diseño de estructuras de acero. 5ta ed. México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor, 2012. 724 pp.
ISBN: 9786077075592
41. MIRAVETE, A. Materiales compuestos Vol.1: Barcelona, 2012. 804 pp.
ISBN: 978-84-291-9224-7
42. MORALES Ortuño, Sergio. Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones. Tesis (Ingeniero mecánico). Culhuacán: Universidad Politécnico Nacional de México, 2008.
43. MOUSALLI, Gloria. Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. [En línea] 10 de junio de 2016. [fecha de consulta: 16 de mayo de 2020.] https://www.researchgate.net/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa.

44. NOR, N. Fiber Reinforced Polymer (FRP) Portable Bridge: Modeling and Simulation. 2010.
45. TIBBETTS, Andrew J. Durable Fiber Reinforced polymer connections for Precast Concrete Structures. Tesis (Civil engineer) University of Wisconsin-Madison, 2008.
46. VALDERRAMA, Santiago. Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica. Perú: Editorial San Marcos, 2007. 316pp. ISBN:9789972380419.
47. VARGAS Córdova, William. Diseño estructural de nave industrial metálica para mejoramiento de almacenes en Av. Argentina. Tesis (Ingeniero civil). Callao: Universidad Cesar Vallejo del Perú, 2017

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR volvo, Lurín - 2020”

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | DIMENSIONES | INDICADORES | INSTRUMENTO | |
|---|--|--|--|--|---|--|--|
| <u>PROBLEMA GENERAL:</u> | <u>OBJETIVO GENERAL:</u> | <u>HIPÓTESIS GENERAL</u> | <u>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</u> | Diseño de estructura | Propiedades físicas y mecánicas del material | Norma ASTM A36 / D790 / D638 / D695 | |
| ¿Cómo será la comparación de la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín 2020? | Comparar la estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín - 2020 | La estructura de FRP muestra ser más recomendable que la estructura metálica en el mejoramiento de la cubierta de la PTAR volvo, Lurín - 2020 | X1: Estructura metálica | | Vida útil estimada | Norma ASTM / ISO 9223 / UNI EN 1990 | |
| | | | | Proceso de Fabricación | Perfiles Equipos requeridos Tiempo de fabricación | Norma ASTM A 36 Norma ASME RTP-1 | |
| | | | | Mantenimiento | Tipo Periodicidad Materiales, equipos y herramientas | Ficha Técnica Norma ASTM - G1 | |
| <u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</u> | <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u> | <u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</u> | <u>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</u> | Diseño de cubierta de ptar | Análisis estructural | Norma E.090 Norma E.020 Norma E030 | |
| ¿Cómo será la comparación del análisis estructural entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020? | Determinar como será la comparación del análisis estructural entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020 | La cubierta con FRP tiene menores esfuerzos en sus elementos estructurales a comparación de la cubierta metálica. | Y: Mejoramiento de cubierta | | Análisis sísmico | Software Sap2000 | |
| ¿Cómo será la comparación del análisis sísmico entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020? | Determinar como será la comparación del análisis sísmico entre la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020 | La cubierta con FRP cumple con los límites de análisis sísmico en comparación con la cubierta metálica | | Construcción de cubierta de estructura metálica y de FRP | Materiales Mano de obra Proceso constructivo Tiempo de ejecución | Norma ASME RTP-1 Ficha de observación Ms Project | |
| ¿Cómo será la comparación entre el proceso constructivo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020? | Determinar como será la comparación entre el proceso constructivo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020 | El proceso constructivo en estructura con FRP tiene un menor tiempo de construcción que la estructura metálica, mejorando el tiempo de ejecución de la cubierta del PTAR | | | | | |
| ¿Cómo será la comparación entre el costo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020? | Determinar como será la comparación entre el costo de la estructura metálicas vs FRP en el mejoramiento de la cubierta del PTAR volvo, Lurín-2020 | El costo de inversión de instalación de una estructura de FRP es mayor que el de una estructura metálica | | Costos | Material Ejecución Mantenimiento | Ms Project | |

ANEXO 2: Matriz de operacionalización

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Título: “Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR volvo, Lurín - 2020”

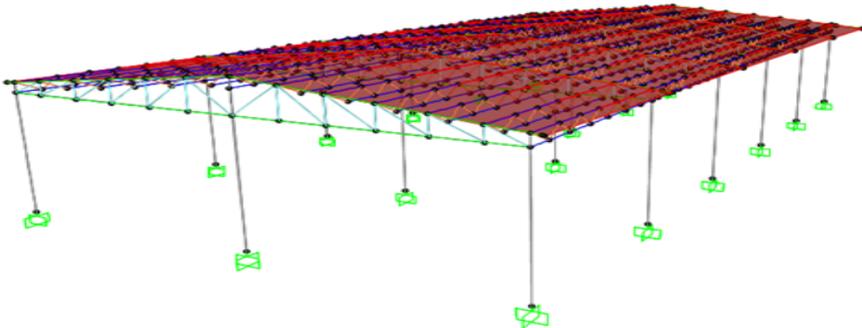
| VARIABLE | DEFINICION CONCEPTUAL | DEFINICION OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN | |
|-----------------------------------|--|---|--|---|--|-----------|
| <u>Variable independiente (X)</u> | Definimos como una estructura metálica la ejecución de una construcción mediante la conjunción ordenada de diferentes elementos resistentes que soportan las acciones para las que fueron diseñadas. (Benito, 2011) | Una estructura metálica, es un armazón en el que la mayoría de los elementos que lo componen son materiales metálicos, tienen excelentes características estructurales, son muy funcionales, aunque actúan negativamente en presencia de humedad. | Diseño de estructura | Propiedades físicas y mecánicas del material Vida útil estimada | Razón | |
| X1: Estructura metálica | | | Proceso de fabricación | Perfiles Equipos Requeridos Tiempo de fabricación | Intervalo | |
| X2: Estructura de FRP | | | El material de FRP es un material compuesto, con buenas propiedades mecánicas, el cual se ha utilizado con éxito en entornos altamente agresivos, su resistencia a la corrosión en contacto con ambientes alcalinos, disminuye el costo de mantenimiento y aumenta la vida útil. | Mantenimiento | Periodicidad Tipo Materiales, equipos y herramientas | Intervalo |
| | | | Uno de los componentes suele ser el refuerzo de forma de fibra, que proporciona al material su capacidad resistente a la tracción, la misma puede ser vidrio.[], el otro componente denominado matriz, suele ser una resina de poliéster, epoxi fenólica, que envuelve y liga a las fibras.(Tierno, 2008, P. 13.) | | | |
| <u>Variable dependiente (Y)</u> | El mejoramiento para los procesos constructivos puede aplicarse desde el inicio del proyecto, en su etapa de planificación, es donde se toman decisiones importantes respecto a los elementos tales como tecnología, sistemas constructivos y materiales. (hernández,2016, p.65) | El mejoramiento de la cubierta de la Ptar se realizara a través de la comparación entre sus indicadores así como su diseño con ambos materiales con el fin de tener una estructura con mayor resistencia a la corrosión, menor mantenimiento, reducir costos y aumentar su vida útil. | Diseño de cubierta de ptar | Análisis estructural Análisis sísmico | Razón | |
| Y: Mejoramiento de cubierta | | | Construcción de cubierta de estructura metálica y de FRP | Materiales Mano de obra Proceso constructivo Tiempo de ejecución | Razón | |
| | | | Costos | Material Ejecución Mantenimiento | Razón | |

ANEXO 3: Ficha 01

| VD: RESPUESTA ESTRUCTURAL | | | | | | | |
|---------------------------|--|----------------------------|------------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------------|
| INDICADOR: DISTORSIÓN | | | | | | | |
| TÍTULO: | Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR. volvo, Lurín - 2020 | | | | | | |
| ALUMNOS: | Amezquita Hinostriza, Jean Pierre Díaz Carrasco, Richard Jhonnatan | | | | | | |
| UBICACIÓN: | Distrito | Lurín | | | | | |
| | Av: | Volvo | | | | | |
| Deriva en X | Estructura Metalica | Estructura Metalica | 0.001>deriva | Deriva en X | FRP | FRP | 0.001>deriva |
| Piso | (Δ/h) | Drift*R | | Piso | (Δ/h) | Drift*R | |
| 1 | 0.002576733 | 0.0115953 | NO | 1 | 0.001368547 | 0.00615846 | CUMPLE |
| Base | 0 | 0.00 | CUMPLE | Base | 0 | 0 | CUMPLE |
| Deriva en Y | con la E.030 | Estructura Metalica | 0.001>deriva | Deriva en Y | FRP | FRP | 0.001>deriva |
| Piso | (Δ/h) | Drift*R | | Piso | (Δ/h) | Drift*R | |
| 1 | 0.000684089 | 0.0030784 | CUMPLE | 1 | 0.000384958 | 0.00173231 | CUMPLE |
| Base | 0 | 0.00 | CUMPLE | Base | 0 | 0 | CUMPLE |
| | | | | | | | |
| N° | EXPERTO | | | CIP | FIRMA | PUNTAJE | |
| 1 | Ing. Jussy Fernando PAREDE LEÓN | | | N° 40179 | | 100% | |
| 2 | Ing. Lennin Miguel BENDEZU ROMERO | | | N° 7536 | | 100% | |

ANEXO 4: Ficha 02

| VD: RESPUESTA ESTRUCTURAL | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|--|------------------------------|---------------------------|----------|-----------|------------------------------|
| INDICADOR: PERIODO DE VIBRACIÓN | | | | | | | |
| TITULO: | | Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR. Volvo, Lurín - 2020 | | | | | |
| ALUMNOS: | | Amezquita Hinostrroza, Jean Pierre Díaz Carrasco, Richard Jhonnatan | | | | | |
| UBICACIÓN: | | Distrito | Lurín | | | | |
| | | Av: | Volvo | | | | |
| Sistema | Periodos | Estructura metálica | Masa participativa UX (>90%) | Sistema | Periodos | FRP | Masa participativa Ux (>90%) |
| Periodo vibracion | | (Sx) | | Periodo vibracion | | (Sx) | |
| Modo 1 | 0.573 | 0.6842 | 68.42% | Modo 1 | 0.430 | 0.997 | 99.70% |
| Modo 2 | 0.340 | 0.002 | 68.62% | Modo 2 | 0.254 | 0.003157 | 100.0% |
| Modo 3 | 0.286 | 0.0035 | 68.97% | Modo 3 | 0.215 | 0.0001209 | 100.0% |
| Sistema | Periodos | Estructura metálica | Masa participativa Uy (>90%) | Estructural con la Nch433 | Periodos | FRP | Masa participativa Uy(>90%) |
| Periodo vibracion | | (Sy) | | Periodo vibracion | | (Sy) | |
| Modo 1 | 0.573 | 0.997 | 99.70% | Modo 1 | 0.430 | 0.0000417 | 0.00% |
| Modo 2 | 0.340 | 0.003015 | 100.00% | Modo 2 | 0.254 | 0.091 | 9.10% |
| Modo 3 | 0.286 | 0.0001084 | 100.0% | Modo 3 | 0.215 | 0.909 | 100.00% |



| N° | EXPERTO | CIP |
|----|-----------------------------------|----------|
| 1 | Ing. Jussy Fernando PAREDE LEÓN | N° 40179 |
| 2 | Ing. Lennin Miguel BENDEZU ROMERO | N° 7536 |

ANEXO 5: Ficha 03

| VD: RESPUESTA ESTRUCTURAL | | | | | |
|----------------------------|--|------------|--------|-------------|---------------|
| INDICADOR: CORTANTE BASAL | | | | | |
| TITULO: | Análisis comparativo entre estructura metálica VS FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR. volvo, Lurín - 2020 | | | | |
| ALUMNOS: | Amezquita Hinostroza, Jean Pierre Díaz Carrasco, Richard Jhonnatan | | | | |
| UBICACIÓN: | Distrito | Lurín | | | |
| | Av: | Volvo | | | |
| Sistema | Estructura Metalica | | | | |
| Cortante Basal en X | V Dinamica | V Estatica | 90% Ve | Vd > 90% Ve | Factor escala |
| | 6.33 | 6.67 | 6.003 | Cumple | No se escala |
| Cortante Basal en Y | V Dinamica | V Estatica | 90% Ve | Vd > 90% Ve | Factor escala |
| | 5.96 | 6.67 | 5.9363 | Cumple | No se escala |
| Sistema | FRP | | | | |
| Cortante Basal en X | V Dinamica | V Estatica | 90% Ve | Vd > 90% Ve | Factor escala |
| | 2.36 | 2.47 | 2.223 | Cumple | No se escala |
| Cortante Basal en Y | V Dinamica | V Estatica | 90% Ve | Vd > 90% Ve | Factor escala |
| | 2.36 | 2.62 | 2.358 | Cumple | No se escala |
| | | | | | |
| N° | EXPERTO | CIP | | PUNTAJE | |
| 1 | Ing. Jussy Fernando PAREDE LEÓN | N° 40179 | | 100% | |
| 2 | Ing. Lennin Miguel BENDEZU ROMERO | N° 7536 | | 100% | |

ANEXO 7: Fotos de la zona de estudio

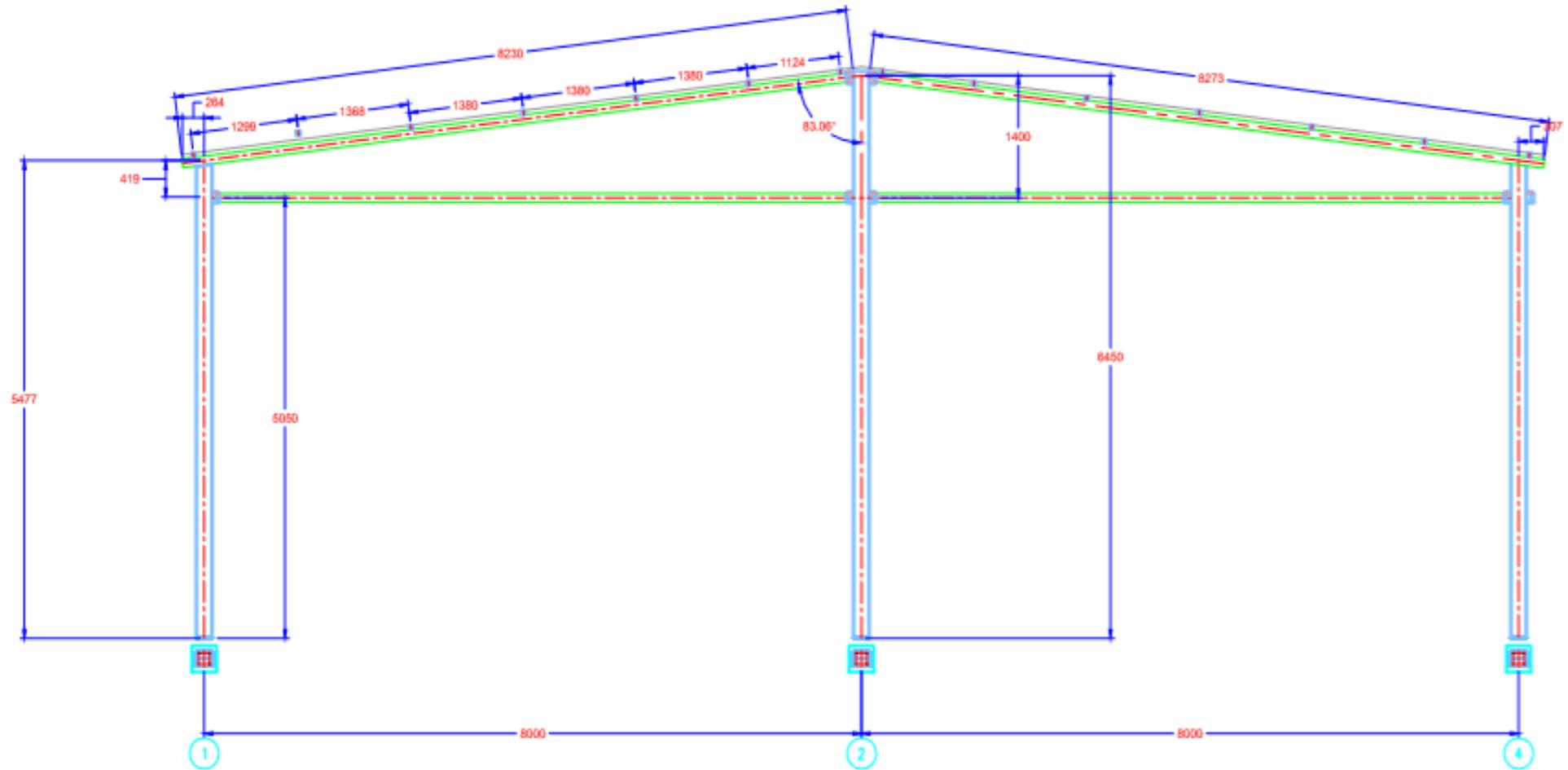


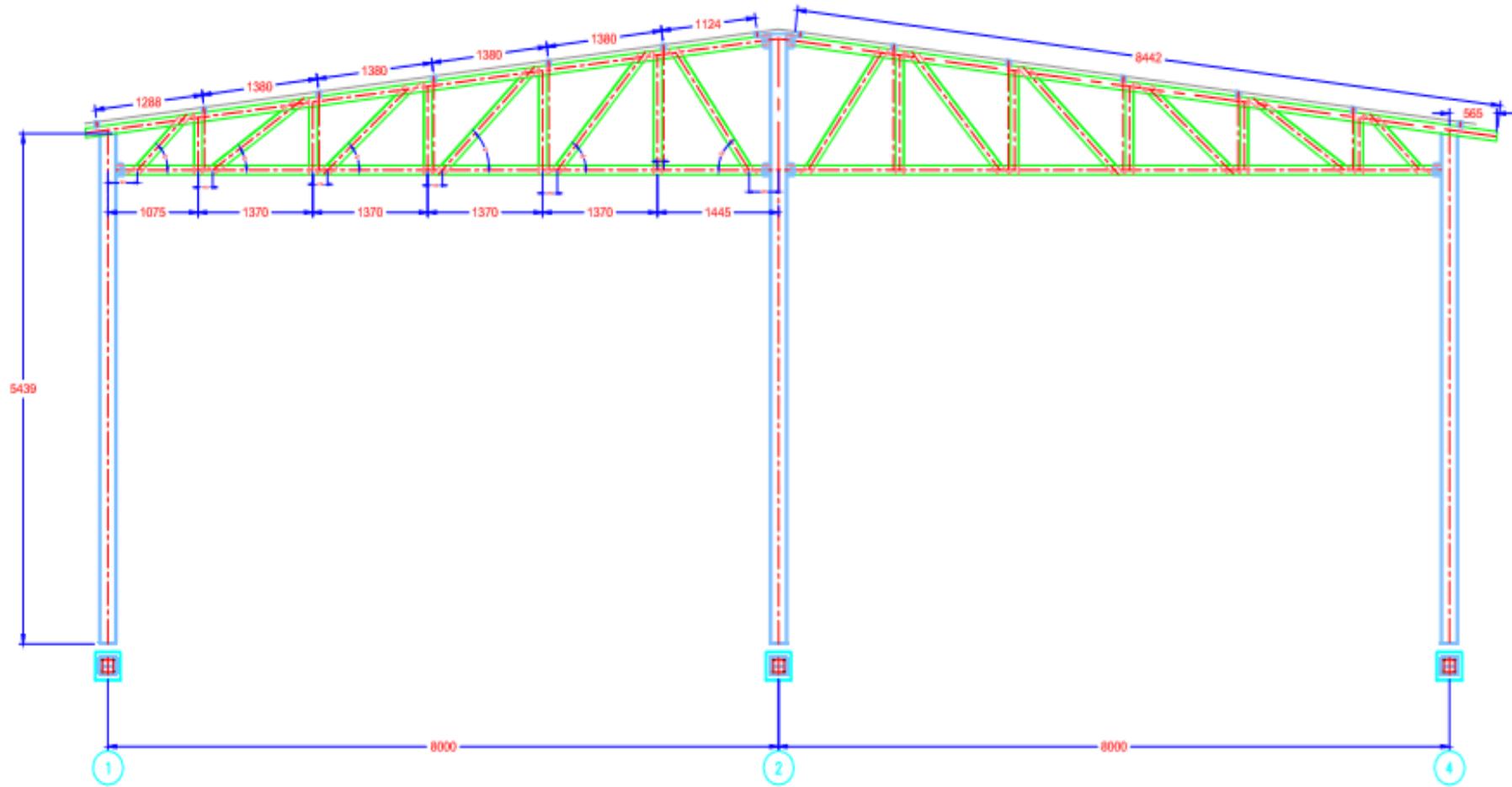






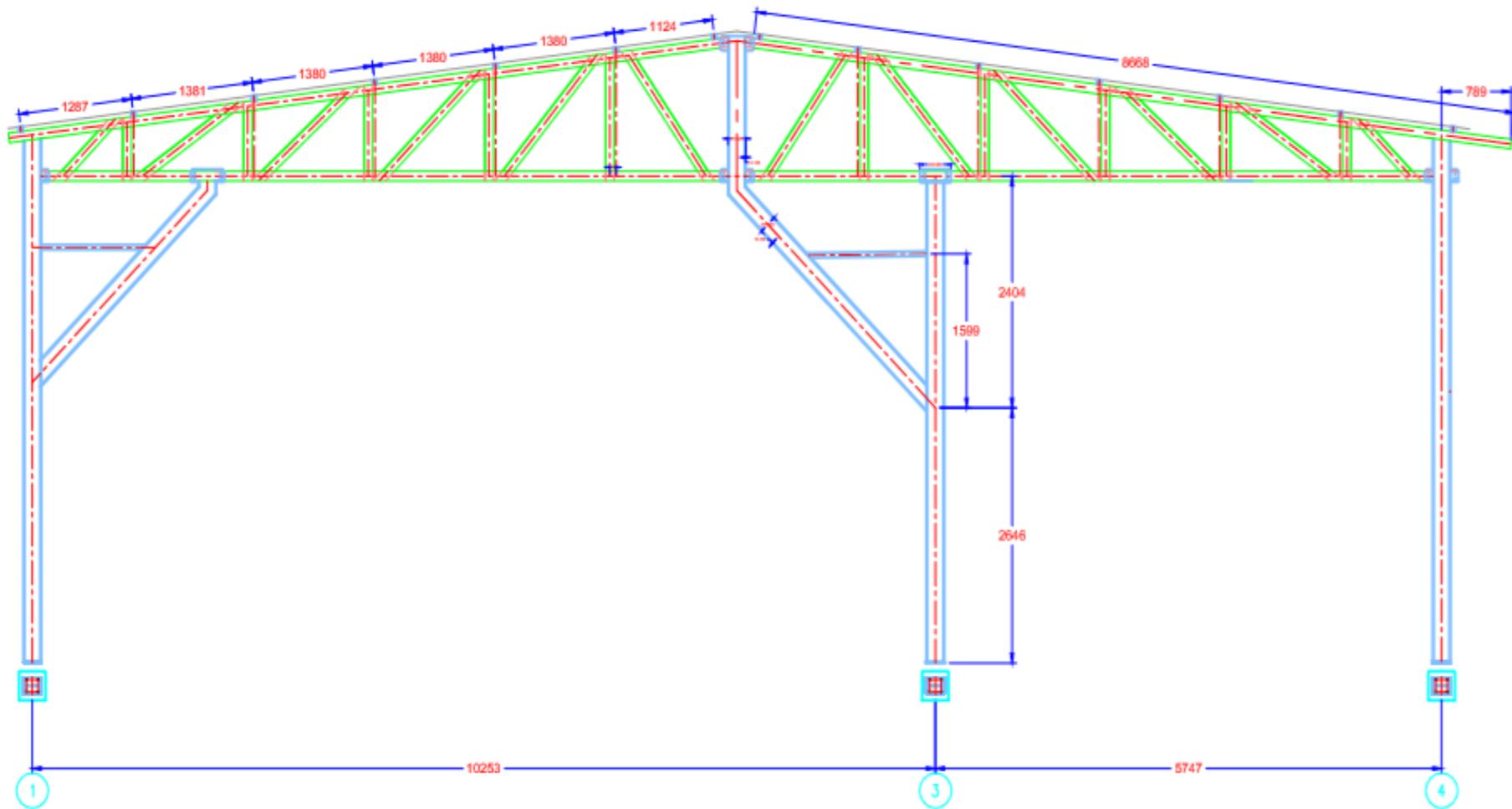
ANEXO 8: Fotos del plano de la estructura





SECCION B

Activar Windo



ANEXO 9: Certificado de calidad de Software



INFORMACIÓN CON FINES ACADÉMICOS
PLATAFORMA DE ANÁLISIS DE MODELOS 3D (ANÁLISIS Y DISEÑO) PARA
EDIFICIOS

Lima 26 de Octubre del 2020

PARA: A quien corresponda

ATENCIÓN: Ing. Roger Contreras Dávila (Especialista y Asesor en Software de CSI CARIBE – ETABS, SAP 2000, SAFE, PERFROM 3D, CSI BRIDGE Y CSI COL).

Por medio de la presente, se hace Constar que los Tesistas:

AMEZQUITA HINOSTROZA, JEAN PIERRE
DIAZ CARRASCO, RICHARD JHONNATAN

Identificados con DNI: 47113808 y 43396839 Con TITULO:
Análisis comparativo entre estructura metálica vs FRP en el mejoramiento de cubierta de la PTAR. Volvo, Lurín - 2020

Aplicó correctamente el uso del Software SAP2000 V20, verificando los análisis y diseño de acuerdo al RNE (E020 | E-030 2006 y E-030 2018 | E-060).


"INGENIERO REGISTRADO"
"E-060"
"2018"

ROGER CRISTIAN CONTRERAS DAVILA
RUC: 20605163030

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATE

Certificate No:
29925-2008-AQ-USA-AMQ

Initial certification date:
26 June 2008

Valid:
05 August 2020 - 04 August 2023

This is to certify that the management system of

CSI-Computers and Structures, Inc.
1646 North California Boulevard, Suite 600, Walnut Creek, CA, 94596, USA

has been found to conform to the Quality Management System standard:
ISO 9001:2015

This certificate is valid for the following scope:
**The Development, Support and Licensing of Software Tools for Structural
and Earthquake Engineering.**

Place and date:
Katy, TX, 21 July 2020

For the issuing office:
DNV GL - Business Assurance
1450 Reavello Drive, Katy, TX, 77449-
5164, USA



Sherif Makrawy
Management Representative

Loss of fulfillment of conditions stated in the Certification Agreement may render this Certificate invalid.
ACCREDITED UNIT: DNV GL Business Assurance USA, Inc., 1450 Reavello Drive, Katy, TX, 77449, USA. TEL: +1 281-998-1800. www.dnvgl.com



COMPUTERS & STRUCTURES, INC.
STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE

**OUR
QUALITY
POLICY**

The employees of CSI are committed to:

ACHIEVING THE HIGHEST STANDARDS
in innovation and technology

CONTINUALLY IMPROVING our products
and quality system

EXCEEDING customer expectations

Ashraf Habibullah
President

Marilyn Wilkes
Senior Vice President

Syed Hasanain
Executive Vice President