



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Estudio entre el refuerzo de columnas de concreto armado de  
fibras reforzadas con polímeros y de perfiles metálicos, Lima  
2021**

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

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Martínez Sánchez, Deigar Hebert (ORCID: 0000-0002-3996-1840)

**ASESOR:**

Mg. Marín Cubas, Percy Lethelier (ORCID: 0000-0001-5232-2499)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

La presente investigación está dedicada a mi familia por todo su apoyo incondicional y en especial a mi hijo Logan Elían Martínez Cotrina por enseñarme a ser paciente y perseverante. Así mismo, a todas las personas que siempre estuvieron presentes y creyeron en mí.

## **Agradecimiento**

Agradezco principalmente a Dios, quien fue mi guía y ayuda incondicional para concluir mi objetivo. A mi asesor Mg. Ing. Marín Cubas Percy Lethelier por su compromiso, enseñanza y colaboración, el cual fue un valioso aporte a esta investigación.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
RESUMEN .....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización .....	11
3.3. Población, muestra y muestreo .....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	12
3.5. Procedimiento.....	13
3.6. Método de análisis de datos .....	13
3.7. Aspectos éticos.....	13
IV. RESULTADOS .....	15
V. DISCUSIÓN.....	47
VI. CONCLUSIONES.....	51
VII. RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS .....	60

## Índice de tablas

Tabla 1. Cargas permanentes.....	17
Tabla 2. Cargas vivas.....	18
Tabla 3. Cargas vivas.....	18
Tabla 4. Predimensionamiento de vigas. ....	18
Tabla 5. Predimensionamiento de columna más desfavorable. ....	19
Tabla 6. Aceros propuestos por el programa. ....	20
Tabla 7. Derivas sentido X. ....	21
Tabla 8. Derivas sentido Y. ....	21
Tabla 9. Desplazamientos laterales. ....	22
Tabla 10. Desplazamientos laterales. ....	22
Tabla 11. Nuevas cargas vivas. ....	23
Tabla 12. Derivas con cargas mayoradas. ....	24
Tabla 13. Derivas con cargas mayoradas. ....	25
Tabla 14. Desplazamientos laterales con cargas mayoradas. ....	25
Tabla 15. Relación demanda/capacidad en las columnas sin reforzamiento. ....	26
Tabla 16. Resultados del Sika CarboDur. ....	27
Tabla 17. Desplazamientos laterales con CFRP. ....	28
Tabla 18. Derivas de estructura con CFRP en el sentido X. ....	28
Tabla 19. Derivas de estructura con CFRP en el sentido Y. ....	29
Tabla 20. Cantidades de material CFRP. ....	29
Tabla 21. Relación demanda/capacidad en columnas con CFRP.....	30
Tabla 22. Dimensiones de angular para reforzamiento con perfiles metálicos. ...	32
Tabla 23. Materiales para reforzamiento con perfiles metálicos.....	32
Tabla 24. Desplazamientos laterales con perfiles metálicos. ....	33
Tabla 25. Derivas con perfiles metálicos en el sentido X. ....	33
Tabla 26. Derivas con perfiles metálicos en el sentido Y. ....	34
Tabla 27. Relación demanda/capacidad con refuerzo de perfiles metálicos.....	34
Tabla 28. Comparación de los desplazamientos en X en todas las estructuras. .	35
Tabla 29. Comparación de los desplazamientos en Y en todas las estructuras. .	38
Tabla 30. Comparación de las derivas en X en todas las estructuras.....	41
Tabla 31. Comparación de las derivas en Y en todas las estructuras.....	41
Tabla 32. Comparación de los materiales para el reforzamiento. ....	43
Tabla 33. Comparación de los ratios demanda/capacidad .....	44

## Índice de figuras

Figura 1. Columna reforzada con FRP.....	7
Figura 2. Columna reforzada con Perfiles metálicos.....	9
Figura 3. Vista de planta .....	16
Figura 4. Vista en perspectiva.....	16
Figura 5. Estructura de concreto armado .....	17
Figura 6. Estructura de concreto armado con cargas vivas .....	23
Figura 7. Sección transversal de columna reforzada con CFRP.....	27
Figura 8. Modelado de Columna con presillas en la utilidad “Section Designer” de Etabs .....	31
Figura 9. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 4. ....	36
Figura 10. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 3. ....	36
Figura 11. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 2. ....	37
Figura 12. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 1. ....	37
Figura 13. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 4. ....	38
Figura 14. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 3. ....	39
Figura 15. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 2. ....	39
Figura 16. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 1. ....	40
Figura 17. Comparación de derivas en X en todos los pisos. ....	42
Figura 18. Comparación de derivas en Y en todos los pisos. ....	42
Figura 19. Valores de relación demanda/capacidad para cuatro columnas que necesitaron de reforzamiento. ....	45
Figura 20. Valores de relación demanda/capacidad para dos columnas que necesitaron de reforzamiento. ....	45

## RESUMEN

Para el refuerzo estructural de edificaciones sometidas a un cambio de uso es necesario que los materiales de refuerzo sean capaces de resistir las nuevas solicitaciones. El refuerzo estructural mediante perfiles metálicos y mediante polímeros reforzados con fibra de carbono presenta distintas características para resistir y distribuir dichas cargas, permitiendo alargar la vida útil de las edificaciones. Dado que, para un cambio de uso, es necesaria adecuar la resistencia de los elementos estructurales para que soporten la nueva carga, se analizó cada uno de los materiales en una estructura aporticada de concreto armado de cuatro pisos evaluando así el comportamiento estructural de la edificación ahora reforzada. El objetivo general fue Realizar el estudio del refuerzo de columnas en estructuras de concreto armado con el uso de fibras reforzadas con polímeros y de perfiles metálicos, 2021. Asimismo, desde el punto de vista de la metodología fue de tipo explicativa y de diseño cuasiexperimental. La población fueron columnas de concreto armado que necesiten un cambio de uso siendo el muestreo de tipo no probabilístico y por conveniencia. Como resultado se tuvo que al realizar el análisis comparando las edificaciones reforzadas con CFRP o perfiles de acero, Llegando a la conclusión que el CFRP es un material de reforzamiento que presenta una buena respuesta a nivel estructural que, unido a su bajo peso y fácil colocación, lo hacen una buena opción para sustituir el uso de los perfiles metálicos.

**Palabras clave:** Estructura, Concreto armado, Perfiles metálicos, Fibra de carbono, Polímeros.

## **Abstract**

For the structural reinforcement of buildings undergoing a change of use, it is necessary that the reinforcing materials are capable of resisting the new stresses. Structural reinforcement by means of metal profiles and carbon fiber reinforced polymers has different characteristics to resist and distribute these loads, allowing the useful life of the buildings to be extended. Since, for a change of use, it is necessary to adapt the resistance of the structural elements to support the new load, each of the materials was analyzed in a four-story reinforced concrete frame structure, thus evaluating the structural behavior of the now reinforced building. The general objective was to study the reinforcement of columns in reinforced concrete structures with the use of polymer-reinforced fibers and metallic profiles, 2021. Also, from the point of view of the methodology, it was of explanatory type and quasi-experimental design. The population was reinforced concrete columns in need of a change of use and the sampling was non-probabilistic and by convenience. As a result of the analysis comparing the buildings reinforced with CFRP or steel profiles, it was concluded that CFRP is a reinforcement material that presents a good response at a structural level, which, together with its low weight and easy placement, make it a good option to replace the use of metal profiles.

**Keywords:** Structure, Reinforced concrete, Metal profiles, Carbon fiber, Polymers.



## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, diseñar una construcción perfectamente funcional durante toda su vida útil es uno de los objetivos principales de la Ingeniería Civil, ya que las obras de concreto armado están proyectadas a largo plazo **(Hernández E. , 2017)**. En tal sentido, se puede afirmar que los requerimientos y consideraciones iniciales de diseño se ven afectados por diversos factores como seguridad, factores ambientales, modificación de criterios ante respuesta sísmica, problemas de explosión, fuego, impacto, entre otros; es decir, factores que implican una reducción de la vida útil de las estructuras **(Del Rosal, 2017)**. Por otro lado, es importante señalar que la vida útil de la estructura no solo se altera por agentes ajenos a las condiciones sobre las que se estableció el proyecto o por los fenómenos naturales, sino también por fallas en el diseño o construcción **(Bejarano et al., 2019)**. Basado en lo antes expuesto, se hace necesario incorporar técnicas de refuerzo en la estructura, en lugar de dejarlas abandonadas o incluso demolerlas, para lo cual se debe analizar la mejor alternativa. Es relevante destacar que, a finales de la década de los 80, en Europa y Japón se incorporaron con éxito sistemas de refuerzos con variedad de productos basados en materiales compuestos, como lo polímeros reforzados con fibras (FRP) **(Urich, 2013)**. Bajo ese contexto, debido al aumento en la necesidad de reforzar y rehabilitar las estructuras, los ingenieros han estado en la búsqueda de nuevas tecnologías, métodos y materiales que sean una alternativa eficiente y sobre todo económica; es relevante mencionar que en la última década el interés se ha centrado en encontrar materiales que se acoplen a los actuales proyectos de ingeniería, donde se busca tener elementos resistentes, durables, poco deformables, resistentes a la corrosión, en otros términos, características que evitan la rotura frágil de las estructuras **(Hierro et al., 2014)**. Por otro lado, en Latinoamérica, la idea de implementar medidas alternativas con materiales compuestos ha comenzado a ser abordada con éxito en algunos países como Colombia o Perú **(Sika, 2016)**. Dentro de estos materiales, se cuenta el sistema de polímeros reforzados con fibras de alta resistencia (FRP, por sus iniciales en inglés *Fiber Reinforced Polymers*), que al presentar un precio competitivo y una fácil instalación se ha convertido en una opción viable y eficiente para el reemplazo de sistemas de refuerzo convencional con perfiles metálicos. En consecuencia, es una

de las respuestas que mejor se acopla a las necesidades antes expuestas y que además tiene una excelente relación costo-beneficio, entre otras bondades **(Zamora y Llanes, 2018)**. En el Perú, las técnicas de reforzamiento se han convertido en una necesidad para el aprovechamiento máximo de la vida útil de las estructuras. Hoy en día, se ha utilizado como solución el refuerzo estructural mediante perfiles metálicos o perfiles de acero **(Tiempo Minero, 2020)**. Si bien es cierto que el material CFRP resulta más costoso que los perfiles metálicos, el cual es un material similar en objetivo y uso, el ahorro de la mano de obra inherente en su bajo peso facilita su instalación, además de proporcionar una alta resistencia, reduciendo el área de refuerzo, y hace del mismo una mejor opción en el requerimiento de un refuerzo estructural **(Hempapriya, 2017)**. Asimismo, ha demostrado ser una alternativa de reparación de estructuras por la resistencia que proporciona relacionada con su peso, su resistencia a la corrosión, la ilimitada longitud del material entre otras ventajas, además de ofrecer facilidad de aplicación y bajo tiempo de mano de obra **(Geier, Davim, y Szalay, 2019)**. En este orden de ideas, su uso se encuentra limitado ya que dicho material no es empleado a gran escala por varios factores, uno de los principales es el hecho de no contar con una normativa de diseño propia para el uso de polímeros reforzados con fibras (FRP) en el país, sino que se utiliza información de centros de investigación internacionales y empresas que proponen recomendaciones sobre su diseño, como lo es el American Concrete Institute, con su Norma ACI 440.2R-08 y Sika con sus especificaciones técnicas, respectivamente (Flores, 2018). En función de la situación planteada, se analizará el comportamiento estructural del sistema de reforzamiento tradicional de acero con perfiles metálicos, respecto al de polímeros reforzados con fibras, para determinar si es factible su uso y de ser así proponerlo como una alternativa a los métodos de reforzamiento en el país. Generándose además la siguiente pregunta de investigación: **¿Cuál es el tipo de refuerzo estructural posee un mejor desempeño como opción constructiva en columnas de concreto armado entre el uso de fibras reforzadas con polímeros y de perfiles metálicos?** Asimismo, se plantearon las siguientes preguntas secundarias: **¿Cuáles son las especificaciones técnicas de los materiales a emplear para las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos?;** **¿De qué forma se puede hacer el modelado de las columnas reforzadas con**

**polímeros y perfiles metálicos?; ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos?** En el mismo orden de ideas, el objetivo general de la investigación conlleva a **Realizar el estudio del refuerzo de columnas de concreto armado con el uso de fibras reforzadas con polímeros y de perfiles metálicos, 2021.** Posteriormente, los objetivos específicos serían: **Definir las especificaciones técnicas de los materiales a emplear para las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos; Elaborar el modelo de las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos a través de un escenario de virtualización (software) y, Comparar las propiedades mecánicas de las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos.** Secuencialmente, la investigación encuentra su justificación dentro del hecho de que, desde el punto de vista teórico, esta investigación aportará mayor información sobre las características del reforzamiento con FRP y perfiles de acero. Desde el punto de vista práctico, con los resultados obtenidos en esta investigación, se pretendió determinar cuál permite asegurar un adecuado desempeño de los elementos estructurales de concreto armado. Además, la pertinencia social se centró en el desarrollo y fortalecimiento de las habilidades de los ingenieros civiles de la región, en las técnicas de reforzamiento con polímeros reforzados con fibras y perfiles de acero en columnas de concreto armado, para estar en capacidad de generar de forma eficiente respuestas de ingeniería para preservar obras construidas sin que sea necesaria su demolición, disminuyendo así los costos de inversión en servicios para la población, pudiéndose utilizar este excedente para la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

## II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se proporciona toda la información de relevancia, necesaria para entender el comportamiento de las estructuras de concreto armado que emplean como materiales de refuerzo el FRP o los perfiles de acero. Primeramente, se procederá a exponer los antecedentes que sirvieron como guía para la presente investigación. **A nivel internacional** se tiene a **Pujol (2020)** en su tesis doctoral “Refuerzo a cortante de estructuras de hormigón armado con laminados de polímeros reforzados con fibras (FRP): verificación experimental” cuyo objetivo fue nutrir de conocimientos existentes para el refuerzo de elementos estructurales de concreto con el uso de FRP. Metodológicamente tuvo un diseño experimental de alcance descriptivo. En sus resultados, se logró obtener como resultado que las deformaciones del refuerzo de acero transversal se reducen reforzando las vigas con laminados de fibra de vidrio y se reducen aún más fijando el refuerzo. Sin embargo, no se encontró ninguna otra reducción de las deformaciones de las barras transversales de acero para aplicaciones más altas. Por otro lado, **Villasevil (2016)** en su investigación “Refuerzo a cortante con laminados FRP. Estudio del desprendimiento prematuro del refuerzo” cuyo objetivo fue aportar conocimientos importantes sobre el efecto del FRP en elementos de hormigón armado. Metodológicamente fue de diseño no experimental, de tipo descriptivo y de corte transversal. Se llegó a la conclusión de que el modelo propuesto puede reproducir el comportamiento de las vigas de hormigón armado con FRP en forma de U con una buena indicación de la fuerza cortante última, el desplazamiento de corte, la deformación de corte del FRP, del acero y la resistencia de corte del FRP. También muestra la delaminación prematura del FRP y el estrés con el que se libera para predecir la carga de ruptura. También, **Revollo y Delgadillo (2017)** en su artículo “Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos”, cuyo objetivo fue comparar a nivel técnico y económico los dos métodos de refuerzo en Bolivia. Metodológicamente fue de tipo no experimental y de alcance descriptivo. Se llegó a la conclusión que, el refuerzo compuesto de FRP es un material mucho más avanzado en la investigación y tiene propiedades de tensión superiores y resistencia a los medios agresivos en

comparación con el refuerzo de perfil metálico que se ha utilizado durante muchos años. **Desde el punto de vista nacional, Alegre (2017)** en su tesis “Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado” en la cual tuvo como objetivo principal la determinación del comportamiento elástico en vigas de concreto expuesta a fuerzas de flexión y las cuales están reforzadas de FRP. Metodológicamente tuvo un diseño experimental de alcance descriptivo. El aumento de la resistencia a la flexión alcanzó el 58,9% en la sección con menor cantidad de acero, y en la sección con mayor cantidad de acero el aumento de la resistencia alcanzó el 18,4%. De igual modo, se demostró que el comportamiento de la CFRP es casi lineal hasta que alcanza el estado de fallo por el que se considera un material quebradizo. Asimismo, **Santos (2019)**, en su artículo “Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado al ser reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP)” en el cual se investigaba cual es el efecto del uso de polimeros reforzados con fibras de carbono en la resistencia a la flexión en vigas de concreto. Metodológicamente fue de tipo experimental y de alcance descriptivo. La resistencia a la flexión de las vigas de hormigón armado cuando están reforzadas con placas de carbono aumenta en un 59,8% a 63,6%, lo que indica que las fibras de carbono aumentan la resistencia a la flexión de las vigas y también reducen significativamente la plasticidad de las mismas, evitando así una desviación excesiva. Finalmente, **Bazán y Fernández (2019)** en su artículo “Evaluación de la sobre resistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzadas con bandas FRP” cuya finalidad fue la exposición de las normas y de los materiales más usados en la tecnología FRP, así como comparar resultados experimentales propios del autor con otras fuentes. Asimismo, su metodología fue de diseño mixto y alcance descriptivo. A partir de una muestra de veintitrés pruebas se calculó una desviación estándar de 0,08 en la relación entre los valores nominales calculados y las tasas de fallo experimentales; los resultados muestran que en el 70% de estos casos hay una sobre resistencia sobre el valor predicho por la guía ACI 440.2R-17. En otro orden de ideas es necesario exponer las bases teóricas que sustentan la presente investigación. Primero se definirá que es una estructura, la cual no es más que un conjunto de elementos que convergen entre sí para soportar fuerzas o cargas manteniendo la estabilidad en la proporción adecuada para contrarrestarse. Así

mismo, el autor señala que las estructuras aporticadas, son aquellas estructuras constituidas por pórticos, los cuales soportan el peso de las losas, es decir, las vigas de los pórticos reciben las cargas y se las transmiten a las columnas, éstas a su vez transmiten las cargas a las zapatas y luego éstas últimas al suelo **(Quizanga, Lema, y Méndez, 2019)**. Por otro lado, **Moya y Cando (2016)** define el acero como una aleación compuesta de hierro (97 % aprox.) y varios minerales como el carbono, manganeso, sílice, entre otros. De todos sus componentes destaca tradicionalmente el carbono que le proporciona dureza de acuerdo al porcentaje en que intervenga, llegando a tener un 1.6 % para aceros estructurales de alta resistencia; de ahí la designación de acero al carbono para los aceros estructurales. Además, de acuerdo a (Valois, 2017) los aceros en general poseen resistencias bastantes altas en comparación a otros materiales de construcción usados normalmente, además de poseer bastante ductilidad; destacándose en su diagrama de esfuerzo-deformación unitaria, un punto característico muy importante, como ese límite de fluencia ( $F_y$ ). Sin embargo, se destaca que el acero estructural es aquel acero que cumple con ciertos requisitos necesarios para la resistencia y estabilidad de la estructura **(Restrepo y Tabordo, 2017)**. Además, **(Jimenez y Sánchez, 2017)**, señala que los polímeros reforzados con fibras (FRP) son materiales compuestos que consisten en un gran número de fibras continuas o intermitentes incrustadas en una matriz de resina o polímero, siendo las fibras las principales responsables de las propiedades de resistencia del material compuesto, mientras que la matriz se encarga de envolver las fibras para la forma geométrica del material y de la transferencia de la tensión entre las fibras y de protegerlas de posibles daños mecánicos y/o ambientales. Ahora bien, cuando la fibra utilizada es fibra de carbono el material pasa a llamarse polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP) el cual “consiste en fibras de carbono ubicadas sobre una matriz epóxica **(Altin y Gökkaya, 2018)**. Los materiales epóxicos constituyen matrices útiles a causa de su excelente adherencia”. Además, el uso de FRP según **Jianglin y Feng (2019)** es atractivo debido a la alta resistencia a la tracción y a la fatiga, al bajo peso y a la resistencia a la corrosión de estos materiales, además, su producción, deformación y unión es más fácil que en el caso del acero, existe una amplia gama de tamaños que permiten un mejor diseño, puede ser pretensado, puede operar a altas temperaturas de funcionamiento y generalmente su

comportamiento es elástico y lineal al fracaso. Las fibras pueden orientarse en una cierta dirección para mejorar las propiedades mecánicas en la dirección deseada, permitiendo un mejor uso del material. El refuerzo de la estructura también puede ser optimizado usando láminas con diferentes módulos de elasticidad (**Duque et al., 2017**). Uno de los refuerzos disponibles en el mercado y el seleccionado para llevar a cabo la siguiente investigación es el SikaWrap 300C es un tejido unidireccional de fibra de carbono. El material es saturado en campo usando Sikadur 301 el cual es un adhesivo epóxico, el cual sirve para conformar el polímero reforzado con fibras (CFRP) usado para el reforzamiento de elementos estructurales (**Sika, 2016**).

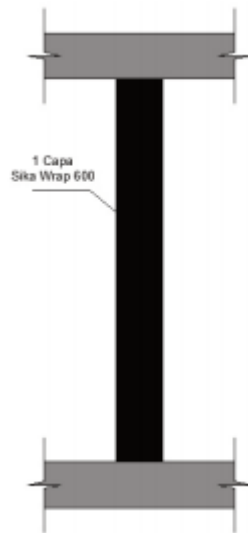


Figura 1. Columna reforzada con FRP.

Fuente: **Revollo y Delgadillo (2017)**

Cabe señalar también que la estructura está sujeta a diversas cargas que pueden variar a lo largo de su vida, como las cargas permanentes que afectan al edificio, cuyas dimensiones pueden considerarse constantes a lo largo del tiempo, las cargas causadas por el peso de los elementos estructurales y no estructurales: losas, rellenos, muros, tabiques, frisos, instalaciones fijas, entre otros. De manera similar, las presiones estáticas de los líquidos y la tierra con naturaleza constante, las deformaciones y desplazamientos impuestos por las reclamaciones, las deformaciones causadas por los constantes movimientos diferenciales de apoyo, los efectos sísmicos y de temperatura constantes, entre otros (**Espinoza y Moreno,**

**2018**). También hay cargas variables, es decir, las que trabajan en un edificio con una variable en el tiempo y que, debido a su ocupación y uso habitual, como las cargas de personas, objetos, vehículos, ascensores, coches, grúas móviles, su impacto, así como el impacto variable de la temperatura y la geología, y los líquidos y empujadores de tierra, que son de naturaleza variable (Urdaneta, 2018). También es importante describir el elemento a estudiar, de acuerdo a **López, Ugel, y Herrera (2018)**, las columnas tienen el propósito primordial de las columnas es el de recibir las cargas verticales que les transmiten los elementos de entrepiso y las columnas de los pisos superiores, para poder levantarlos con seguridad hasta el suelo utilizando los cimientos. Debido al monolitismo del concreto armado, además de la carga vertical, también recibe momentos de magnitud variable según la condición de carga y rigideces relativas de los miembros. En edificios de varios pisos, la carga axial es muy grande comparada con la del momento, especialmente en los primeros pisos inferiores, ya que las columnas reciben las cargas del nivel inmediato más las transmitida por los niveles restantes hasta el tope del edificio, mientras que el momento depende casi exclusivamente del nivel considerado (Bernedo, 2018). Asimismo, **Pavisc (2017)** expresa que, la manera tradicional de refuerzo es a través del uso de angulares y perfiles metálicos, como ventajas principales de este método de refuerzo se encuentran, la rapidez de ejecución y que la puesta en carga es inmediata, a diferencia de los recrecidos de concreto que tienen la necesidad de esperar un tiempo de endurecimiento para conseguir las resistencias buscadas. Este método consiste en la colocación de angulares de acero en las cuatro esquinas de la columna a reforzar sujetándolos lateralmente con presillas soldadas a ellos. Asimismo, **Ospina y López (2019)** indican que la eficacia del sistema está muy íntimamente relacionada con una cuidadosa ejecución. Una mala ejecución puede no conseguir mejorar el funcionamiento de la columna original. Esto puede darse, por ejemplo, en el caso de no transmitir adecuadamente los esfuerzos a los elementos superior e inferior. Para evitar este problema se recomienda realizar un capitel y una base unidos al forjado y a la base mediante un material suficientemente rígido como puede ser la masilla epoxi.



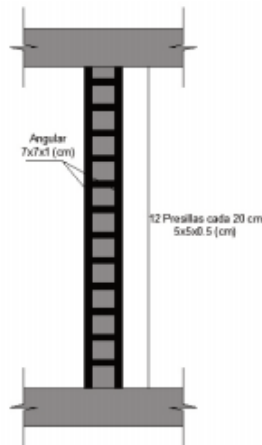


Figura 2. Columna reforzada con Perfiles metálicos.

Fuente: **Revollo y Delgadillo (2017)**

Además, el autor indica que, en esta técnica de refuerzo el acero se coloca principalmente para soportar esfuerzos de compresión, aumentando la sección del soporte original, pero una vez que el concreto comienza a deformarse lateralmente el refuerzo también sufrirá tensiones horizontales, además de las de compresión. Es importante también hablar de los programas a utilizar para el cálculo de la estructura dentro de los que se tuvo al Sika Carbodur. Este software proporciona la asistencia necesaria al usuario en el dimensionamiento de reforzamiento mediante CFRP requerido para lograr un refuerzo a flexión, refuerzo a cortante y confinamiento de columnas (**Revollo y Delgadillo, 2017**). Los procedimientos de cálculo empleados en este programa están basados en la Norma ACI440.2R-08 “Guía para el diseño y construcción de sistemas FRP adheridos externamente, para el refuerzo de estructuras de concreto”. Por otro lado, se utilizó el Etabs 2016, el cual es un software innovador y revolucionario para análisis estructural y dimensionamiento de edificios. Resultado de 40 años de investigación y desarrollo continuo, esta última versión de Etabs ofrece herramientas inigualables de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados (**Acuña y Quiñones, 2018**). Del mismo modo, **Acuña y Quiñones (2018)**, dentro de este programa es importante aclarar que se usara dos elementos del mismo, los cuales serán claves para la obtención de los resultados:

- **El Section Designer:** es una utilidad integrada al programa Etabs, que permite modelar y analizar secciones transversales personalizadas. Estas secciones definidas pueden ser asignadas a elementos diseñados e integrados a una estructura. El diseño de secciones es útil para la evaluación de las propiedades de un miembro incluyendo el comportamiento no lineal de desplazamiento. Las secciones de geometrías arbitrarias deben ser creadas con el Section Designer y ser incorporadas a un modelo estructural; dichas secciones deben incluir una o más materiales y un diseño de cabillas introducido por el usuario. Cuando se analizan las secciones compuestas, el Section Designer transforma la sección completa en el material base especificado en la información de la sección.
- **El ratio:** representa el coeficiente de suficiencia demanda/capacidad que arroja como información el programa Etabs. Este coeficiente debe ser menor o igual a uno, o preferiblemente menor o igual a 0.95. En el diseño de las columnas, el programa calcula el acero longitudinal requerido, o si se especifica el acero longitudinal, la condición de tensión de la columna se informa en términos de la relación de capacidad de columna, que es un factor que proporciona una indicación de la condición de tensión de la columna con respecto a la capacidad de la columna.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Según **Hernández, Fernández y Baptista (2014)**, es explicativa ya que, se busca encontrar las razones por las cuales se genera el fenómeno de estudio, así como determinar los efectos de dicho problema. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

Por otro lado, **Carrasco Díaz (2017)**, indican que es de diseño cuasi experimental, el cual es un método de investigación para determinar y cuantificar las causas del efecto en un estudio piloto, es decir, que se seleccionará una muestra para probar el efecto de una variable en esta.

#### 3.2. Variables y operacionalización

**Variable 1:** Columnas de concreto armado

- **Definición conceptual:** las columnas tienen el propósito primordial de las columnas es el de recibir las cargas verticales que les transmiten los elementos del entrepiso y las columnas de los pisos superiores, para llevarlas de forma segura al suelo por medio de una fundación (López, Ugel, & Herrera, 2018).
- **Definición operacional:** Es un elemento estructural compuesto de concreto y de acero encargado de soportar y transmitir cargas verticales en una edificación aporticada.
- **Indicadores:** Concreto, acero, ratio demanda capacidad.
- **Escala de medición:** Nominal – Razón.

**Variable 2:** Polímeros reforzados con fibras (FRP)

- **Definición conceptual:** son materiales compuestos formados por un gran número de fibras en forma continua o discontinua embebidas en una resina o matriz polimérica, donde las fibras son, esencialmente, responsables de las propiedades resistentes del material compuesto, mientras que la matriz

se encarga de envolver las fibras para dar la configuración geométrica al material (Pujol, 2020).

- **Definición operacional:** Es un método de refuerzo que usa polímeros y fibras para aumentar la resistencia de una columna, y se destaca por su fácil colocación.
- **Indicadores:** CFRP, cantidad de material, derivas, desplazamientos, ratio demanda capacidad.
- **Escala de medición:** Nominal – Razón.

### **Variable 3:** Perfiles metálicos

- **Definición conceptual:** es la manera tradicional de refuerzo la cual se efectúa a través del uso de angulares y perfiles metálicos y posee una gran rapidez de ejecución y que la puesta en carga es inmediata (Revollo & Delgadillo, 2017).
- **Definición operacional:** Es un método usado por mucho tiempo por los ingenieros para reforzar estructuras que están expuestas a un cambio de uso, el cual se basa en la aplicación de perfiles metalitos alrededor de la columna.
- **Indicadores:** Perfiles, cantidad de material, derivas, desplazamientos, ratio demanda capacidad.
- **Escala de medición:** Nominal – Razón.

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

La población serán columnas de concreto armado que necesiten un cambio de uso. La Muestra estará constituida seis columnas las cuales serán simuladas y se estudió su comportamiento, la primera fue sin refuerzo, luego se aumentaron las cargas hasta hacer fallar a las columnas, la tercera poseyó un refuerzo y la cuarta fue reforzada con perfiles metálicos. Asimismo, el muestreo fue de tipo no probabilístico y por conveniencia.

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

Como técnica de recolección de datos se usaron la observación, la cual consiste en el registro sistemático de situaciones observables, con el fin de apreciar y determinar el comportamiento de una variable. Como instrumentos de recolección

de datos se usaron procedimientos específicos propios de la ingeniería civil, estipulados en las normas vigentes de edificaciones de concreto armado (Hernández y Mendoza, 2018).

### 3.5. Procedimiento

- Primero, se recolectó información de otros estudios con el fin de determinar el método de aplicación adecuado de los métodos de refuerzo.
- Se seleccionó los materiales con los cuales se reforzarán las columnas.
- Se determinó las características de cada uno de los materiales a emplear.
- Se modeló las secciones de cada uno de los elementos con el uso del programa Etabs.
- Se recolectó los datos provenientes del programa en relación al comportamiento de las columnas.
- Se comparó las resistencias de los tres casos, para determinar cuál posee un mejor desempeño estructural.
- Se emitió las conclusiones tomando en cuenta las ventajas y desventajas, los métodos de colocación y el desempeño estructural.
- Finalmente, se harán las recomendaciones pertinentes.

### 3.6. Método de análisis de datos

Los datos se procesaron a través del programa Microsoft Excel, para organizar la información obtenida de los ensayos y luego el programa Etabs 2016 para simular la columna sin refuerzo y las reforzadas con perfiles metálicos y FRP. Además, se utilizó el programa Sika Carbodur para calcular la cantidad de CFRP a utilizar en las columnas.

### 3.7. Aspectos éticos

En este caso se tomarán en cuenta aspectos como:

- **Autonomía:** para este aspecto el participante de la investigación tiene la capacidad en todo momento de elegir su participación o retiro de las investigaciones en el momento que lo requieran.
- **Competencia profesional y científica:** Ya que el integrante cumple con los niveles adecuados de formación requeridos para la investigación, lo cual

permite asegurar el rigor científico a lo largo de todo el proceso de investigación hasta su publicación.

- **Objetividad:** Se trata de expresar la realidad tal como es. Por ello, la investigación se basará en criterios técnicos e imparciales en el análisis de todos los factores y variables, y se basará en estudios e investigaciones de fuentes fiables.
- **Respeto de la propiedad intelectual:** Es un atributo que se da a una obra que no ha sido copiada ni imitada. Por esta razón, las citas presentadas corresponden a fuentes bibliográficas y están marcadas como tales para evitar el plagio.
- **Transparencia:** Se trata de una cualidad de la veracidad, es decir, que toda la información presentada corresponde a la realidad, ya que se utilizan como fuentes bibliográficas las instituciones u organismos autorizados o, en su defecto, las fuentes debidamente citadas.
- **Libertad:** La presente investigación está elaborada libre de prejuicios o de intereses económicos, políticos, religiosos o de otro tipo.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Definición de las especificaciones técnicas de los materiales a emplear para las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos

Para el reforzamiento de la estructura, primero se definieron los materiales a utilizar tanto para el método CFRP como para los perfiles metálicos. Para el caso del CFRP se seleccionó un tejido de fibra de carbono unidireccional para refuerzo estructural de la marca Sika (2016), llamado SikaWrap-300 C. Este es un tejido unidireccional de fibra de carbono. El material es saturado en campo, usando Sikadur 301 adhesivo epóxico para conformar el polímero reforzado con fibras (CFRP) empleado para el reforzamiento de elementos estructurales, y posee las siguientes propiedades:

- Resistencia a tensión 4.000 N/mm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad 230.000 N/mm<sup>2</sup>
- Elongación 1.7 %
- Dirección de la fibra 0° (unidireccional)
- Peso por m<sup>2</sup> 300 g
- Espesor 0,17 mm

Del mismo modo, este material es usado para incrementar el comportamiento sísmico en estructuras, reemplazar el acero faltante en elementos de concreto armado, rehabilitar, reparar y reforzar estructuras. Para el cálculo del mismo, se hizo uso del programa SikaCarbodur, el cual permite determinar la cantidad de material a utilizar basado en la norma ACI 440.2R. Además, para el caso de los perfiles metálicos, se utilizaron aquellos hechos de acero estructural con las siguientes características.

- Módulo de elasticidad  $E=2.1 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>
- Módulo de corte  $G = E/2.6 \approx 808000$  kgf/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson  $\nu = 0.3$
- Peso unitario  $\rho = 7850$  kgf/cm<sup>3</sup>
- Coeficiente de dilatación térmica lineal  $\alpha = 11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

## 4.2. Elaboración del modelo de las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos a través de un escenario de virtualización (software)

Para la obtención de los resultados se procedió a simular una estructura aporcionada de cuatro pisos en el programa Etabs 2016 con las siguientes características:

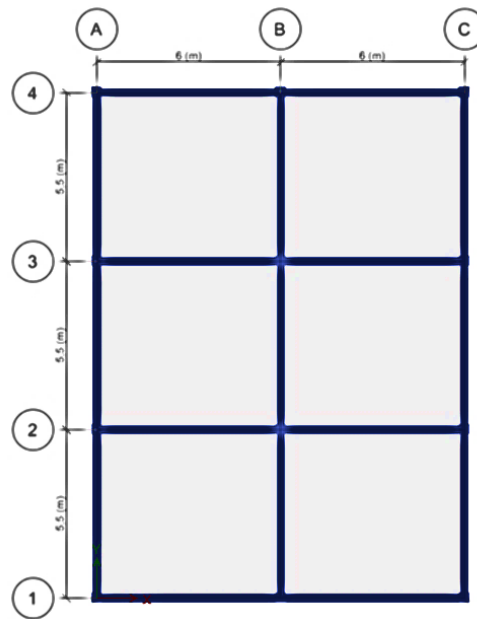


Figura 3. Vista de planta

Fuente: Elaboración propia.

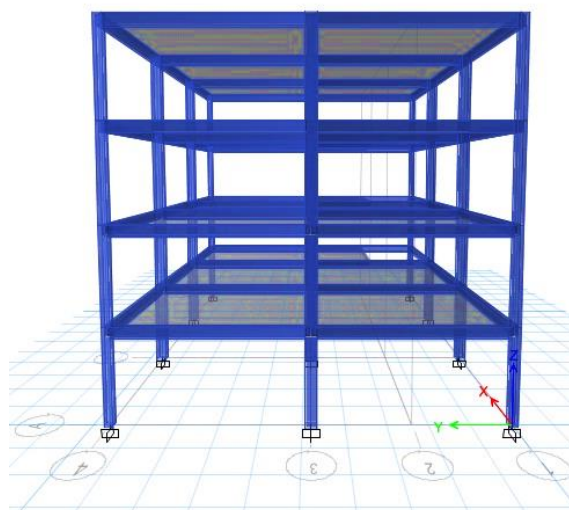


Figura 4. Vista en perspectiva

Fuente: Elaboración propia



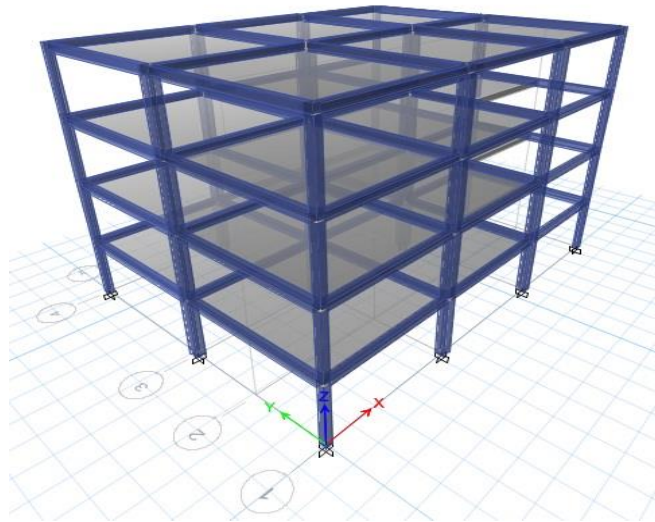


Figura 5. Estructura de concreto armado

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se muestra la estructura en planta, detallando sus dimensiones, ejes, apoyo de las losas, vigas y columnas. Además, en la figura 4 y 5, se observa la estructura perspectiva, detallándose los cuatro pisos con los que está constituida y su respectiva separación. Del mismo modo, se le agregaron las cargas permanentes correspondientes a los materiales de construcción y las cargas vivas correspondientes a la actividad a ejecutar en la norma E-60.

Tabla 1.

*Cargas permanentes.*

<b>Carga Permanente</b>	<b>Entrepiso</b>	<b>Techo</b>
Losa y nervios	300 kgf/m <sup>2</sup>	280 kgf/m <sup>2</sup>
Albañilería	100 kgf/m <sup>2</sup>	-
Acabado de paredes	30 kgf/m <sup>2</sup>	30 kgf/m <sup>2</sup>
Acabado de piso	100 kgf/m <sup>2</sup>	-
Relleno e impermeabilización	-	80 kgf/m <sup>2</sup>
<b>TOTAL DE CARGAS PERMANENTES</b>	<b>530 kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>390 kgf/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.

*Cargas vivas.*

<b>Cargas Viva</b>	<b>Entrepiso</b>	<b>Techo</b>
Uso de la edificación: Vivienda	200 kgf/m <sup>2</sup>	-
Techo visitable	-	100 kgf/m <sup>2</sup>
<b>TOTAL DE CARGAS VARIABLES</b>	<b>200 kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>100 kgf/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se tomó como base los siguientes aspectos sísmicos.

Tabla 3.

*Cargas vivas.*

<b>Características De La Estructura Y Sismología</b>	
<b>Factor del Suelo "S"</b>	1,05
<b>Factor U</b>	1
<b>Coefficiente de Reducción R</b>	8
<b>Factor C</b>	2
<b>Z</b>	0,4

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso fue el predimensionamiento de los elementos de concreto armado:

Tabla 4.

*Predimensionamiento de vigas.*

<b>Predimensionamiento De Vigas De Carga</b>		
<b>Luz libre</b>	<b>H = L/18,5</b>	<b>b</b>
6,00 m	0,35 m	0,25 m
<b>Sección Final</b>		<b>0,35x0,25</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

*Predimensionamiento de columna más desfavorable.*

<b>Predimensionamiento De Columnas</b>		
<b>Columna B2</b>		
<b>At</b>	<b>Carga Ultima</b>	<b>f'c</b>
33,00 m <sup>2</sup>	164,880 kgf	210
<b>Sección Final</b>		<b>0,45x0,45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, utilizando el software Etabs 2016, se procedió a implementar toda la geometría, cargas y elementos predimensionados dentro del programa. Todo esto para simular las condiciones de la edificación y así obtener los resultados del análisis.

Con el modelo estructural de la edificación, se simularon las condiciones que se le establecieron al programa en el modelado y se establecieron las dimensiones, así como las áreas de acero necesarias para que la estructura tuviese un comportamiento conforme a las normas. Dando como resultado los siguientes resultados.

Tabla 6.

*Aceros propuestos por el programa.*

Elementos	Sección (cm)	Niveles	Acero de refuerzo	
			Longitudinal	Transversal
Columnas				
Esquinas, centrales y de borde	0,35x0,35	4	4#4 (As=7,92 cm <sup>2</sup> ) 4#6 (As=11,40cm <sup>2</sup> ) Ast=19,39cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0793 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)
Borde	0,35x0,35	2	4#6 (As=11,40cm <sup>2</sup> ) 4#7 (As=15,51cm <sup>2</sup> ) Ast=26,91cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0292 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)
Esquinas, centrales, de borde	0,35x0,35	1,2,3	2#6 (As=5,70cm <sup>2</sup> ) 2#7 (As=7,76cm <sup>2</sup> ) Ast=13,46cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0434 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)
Vigas				
Carga	0,35x0,35	4	4#5(As=11,40cm <sup>2</sup> ) 2#7 (As=7,76cm <sup>2</sup> ) Ast=13,46cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0434 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)
Carga	0,35x0,35	1,2,3	4#8(As=20,27cm <sup>2</sup> ) 3#6 (As=8,55cm <sup>2</sup> ) Ast=29,82cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0434 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)
Amarre	0,35x0,35	1,2,3	2#5 (As=3,96cm <sup>2</sup> ) 2#5 (As=3,96cm <sup>2</sup> ) Ast=7,92cm <sup>2</sup>	Av/s=0,0434 Estrib. #3 @10(conf) @15(no conf.)

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo arrojó las siguientes características de derivas

Tabla 7.

*Derivas sentido X.*

<b>PISO</b>	Diferencia de desplazamiento $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	Aplicando factor de seguridad $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	Altura de entre piso $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	Deriva elástica $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	Valor Permissible	Ratio	Verificación
Piso 1	0,3331	1,5989	300	0,0053	0,018	29,61 %	<b>Cumple</b>
Piso 2	0,5015	2,4072	300	0,0080	0,018	44,58 %	<b>Cumple</b>
Piso 3	0,4044	1,9411	300	0,0065	0,018	35,95 %	<b>Cumple</b>
Piso 4	0,2404	1,1539	300	0,0038	0,018	21,37 %	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.

*Derivas sentido Y.*

<b>PISO</b>	Diferencia de desplazamiento $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	Aplicando factor de seguridad $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	Altura de entre piso $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	Deriva elástica $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	Valor Permissible	Ratio	Verificación
<b>Piso 1</b>	<b>0,3061</b>	<b>0,9795</b>	<b>300</b>	<b>0,0033</b>	<b>0,018</b>	<b>18,14 %</b>	<b>Cumple</b>
<b>Piso 2</b>	<b>0,4443</b>	<b>1,4218</b>	<b>300</b>	<b>0,0047</b>	<b>0,018</b>	<b>26,33 %</b>	<b>Cumple</b>
<b>Piso 3</b>	<b>0,3506</b>	<b>1,1219</b>	<b>300</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,018</b>	<b>20,78 %</b>	<b>Cumple</b>
<b>Piso 4</b>	<b>0,2008</b>	<b>0,6426</b>	<b>300</b>	<b>0,0021</b>	<b>0,018</b>	<b>11,90 %</b>	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procedió a observar los desplazamientos laterales

Tabla 9.

*Desplazamientos laterales.*

<b>Piso</b>	<b>Desplazamientos (mm)</b>	
	<b>Desplazamientos en X</b>	<b>Desplazamientos en y</b>
4	14,835	13,025
3	12,396	11,014
2	8,351	7,507
1	3,336	3,065

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se procedió a expresar las relaciones demanda/capacidad (ratio) para cada columna presente en la edificación.

Tabla 10.

*Desplazamientos laterales.*

<b>Columna</b>	<b>Piso</b>	<b>Ratio (Demanda/Capacidad)</b>
A1, C1, A4, C4	1	0,702
A1, C1, A4, C4	2	0,646
A1, C1, A4, C4	3	0,497
A1, C1, A4, C4	4	0,477
B1, B4	1	0,872
B1, B4	2	0,469
B1, B4	3	0,317
B1, B4	4	0,239
A2, C2, A3, C3	1	0,895
A2, C2, A3, C3	2	0,948
A2, C2, A3, C3	3	0,796
A2, C2, A3, C3	4	0,768

B2, B3	1	0,895
B2, B3	2	0,657
B2, B3	3	0,430
B2, B3	4	0,252

Fuente: Elaboración propia.

Una vez elaborada la estructura base, se procedió a aplicar la carga viva, pasando de vivienda familiar a salas de archivos de oficina, la cual aumenta a 500 kgf/m<sup>2</sup>. Teniendo nuevas cargas para la estructura.

Tabla 11.

*Nuevas cargas vivas.*

Cargas Variables	Entrepiso	Techo
Uso de la edificación: sala de archivos.	500 kgf/m <sup>2</sup>	-
Techo visitable	-	100 kgf/m <sup>2</sup>
<b>Total De Cargas Variables</b>	<b>500 kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>100 kgf/m<sup>2</sup></b>

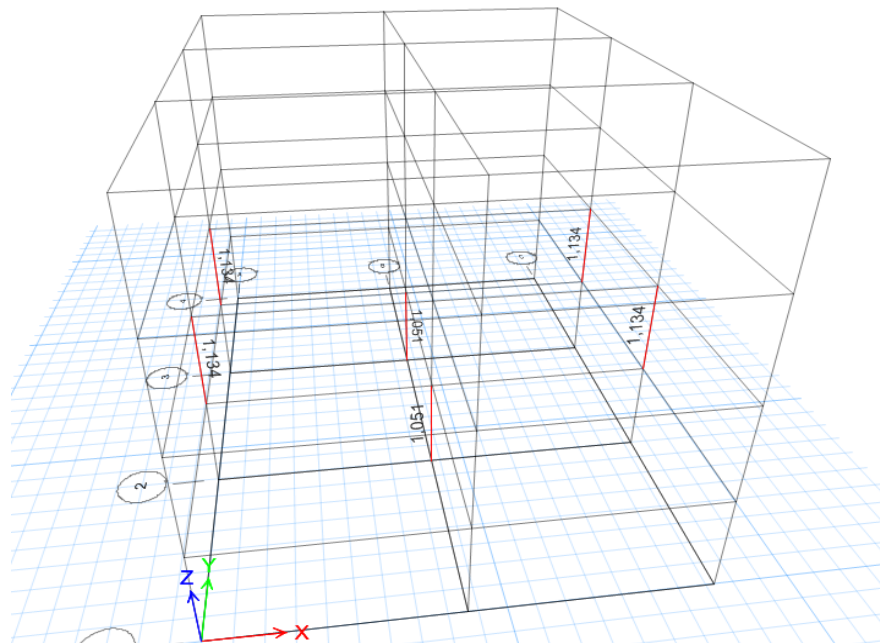


Figura 6. Estructura de concreto armado con cargas vivas

Fuente: Elaboración propia.

Luego de este cambio, los resultados arrojados por el programa Etabs, fallaron seis columnas por demanda/capacidad, por lo tanto, es necesario un reforzamiento que le atribuya a dichas columnas la capacidad de resistencia a la carga axial actuante que está excediendo la carga axial permisible.

Debido a que la estructura es simétrica, se seleccionó una columna, la más desfavorable, para diseñar el reforzamiento y el resultado fue aplicado a todas las columnas que requieran reforzamiento. Arrojando las siguientes derivas para este caso.

Tabla 12.

*Derivas con cargas mayoradas.*

<b>PISO</b>	<b>Diferencia de desplazamiento</b> $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	<b>Aplicando factor de seguridad</b> $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	<b>Altura de entre piso</b> $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	<b>Deriva elástica</b> $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	<b>Valor Permisible</b>	<b>Ratio</b>	<b>Verificación</b>
Piso 1	0,3298	1,5830	300	0,0053	0,0180	29,32 %	Cumple
Piso 2	0,4889	2,3467	300	0,0078	0,0180	43,46 %	Cumple
Piso 3	0,3829	1,8379	300	0,0061	0,0180	34,04 %	Cumple
Piso 4	0,2145	1,0296	300	0,0034	0,0180	19,07 %	Cumple

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 13.

*Derivas con cargas mayoradas.*

<b>PISO</b>	Diferencia de desplazamiento $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	Aplicando factor de seguridad $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	Altura de entre piso $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	Deriva elástica $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	<b>Valor Permisible</b>	<b>Ratio</b>	<b>Verificación</b>
Piso 1	0,3034	0,9709	300	0,0032	0,0180	17,98 %	Cumple
Piso 2	0,4337	1,3878	300	0,0046	0,0180	25,70 %	Cumple
Piso 3	0,3321	1,0627	300	0,0035	0,0180	19,68 %	Cumple
Piso 4	0,1779	0,5693	300	0,0019	0,0180	10,54 %	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, estas son las derivas generadas en la edificación con cargas mayoradas. Del mismo modo se presentan los desplazamientos laterales.

Tabla 14.

*Desplazamientos laterales con cargas mayoradas.*

<b>Nivel</b>	<b>Desplazamientos (mm)</b>	
	<b>Desplazamientos en X</b>	<b>Desplazamientos en Y</b>
4	14,204	12,477
3	12,029	10,699
2	8,196	7,375
1	3,320	3,040

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se demostrará las relaciones demanda/capacidad (ratio) para cada columna presente en la edificación.

Tabla 15.

*Relación demanda/capacidad en las columnas sin reforzamiento.*

<b>Columna</b>	<b>Planta</b>	<b>Ratio (Demanda/Capacidad)</b>
A1, C1, A4, C4	1	0,730
A1, C1, A4, C4	2	0,714
A1, C1, A4, C4	3	0,562
A1, C1, A4, C4	4	0,511
B1, B4	1	0,708
B1, B4	2	0,489
B1, B4	3	0,327
B1, B4	4	0,225
A2, C2, A3, C3	1	0,907
A2, C2, A3, C3	2	1,051
A2, C2, A3, C3	3	0,925
A2, C2, A3, C3	4	0,916
B2, B3	1	1,134
B2, B3	2	0,746
B2, B3	3	0,456
B2, B3	4	0,233

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procedió al dimensionamiento del CFRP, para lo cual se utilizó el programa Sika Carbodur, el cual aplica las Normas ACI 440.2R-08 para el diseño del tipo de CFRP y el número de capas, los cuales le proporcionan a la columna la capacidad para soportar la carga axial mayorada. Se establecieron en el programa los parámetros de la geometría de la columna, la resistencia a compresión del concreto, la distribución del acero de refuerzo, las cargas axiales, los momentos, los factores de carga y la condición de exposición de la columna

Dicho reforzamiento Se obtuvo mediante tejido de carbono unidireccional, saturado y adherido externamente a la estructura mediante adhesivo epoxi Sikadur®-330.

Tabla 16.

*Resultados del Sika CarboDur.*

<b>CFRP</b>	<b><math>e_{fu}</math></b>	<b><math>E_f</math> (MPa)</b>	<b>Espesor <math>t_f</math> (mm)</b>	<b>Número <math>n</math></b>	<b>Ancho (mm)</b>
SikaWrap® 300C - 50cm	0,0170	37580,000	1,000	2	500

Fuente: Elaboración propia.

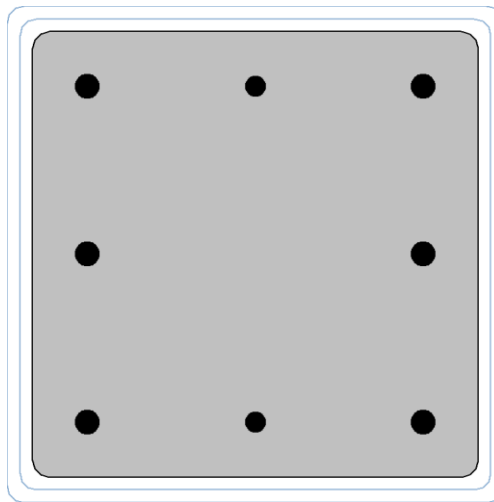


Figura 7. Sección transversal de columna reforzada con CFRP.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 7, con ayuda de la herramienta de Sika CarboDur v6.4 se introdujeron los nuevos datos de las columnas equivalentes al refuerzo con CFRP, con lo cual se presentaron los siguientes desplazamientos y derivas.

Tabla 17.

*Desplazamientos laterales con CFRP.*

Planta	Desplazamientos (mm)	
	Desplazamientos en X	Desplazamientos en y
4	13,953	12,146
3	11,779	10,359
2	7,953	7,049
1	3,205	2,912

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18.

*Derivas de estructura con CFRP en el sentido X.*

	Diferencia de desplazamiento	Aplicando factor de seguridad	Altura de entre piso	Deriva elástica	Valor Permisible	Ratio	Verificación
<i>PISO</i>	$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$	$\delta_i \times 0,8 \times R$	$h_i - h_{i-1}$	$\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$			
	cm	cm	cm				
Piso 1	0,3172	1,5226	300	0,0051	0,0180	28,20 %	<b>Cumple</b>
Piso 2	0,4766	2,2877	300	0,0076	0,0180	42,36 %	<b>Cumple</b>
Piso 3	0,3826	1,8365	300	0,0061	0,0180	34,01 %	<b>Cumple</b>
Piso 4	0,2145	1,0296	300	0,0034	0,0180	19,07 %	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.

*Derivas de estructura con CFRP en el sentido Y.*

<b>PISO</b>	Diferencia de desplazamiento $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	Aplicando factor de seguridad $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	Altura de entre piso $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	Deriva elástica $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	<b>Valor Permisible</b>	<b>Ratio</b>	<b>Verificación</b>
Piso 1	0,2905	0,9296	300	0,0031	0,0180	17,21 %	<b>Cumple</b>
Piso 2	0,4135	1,3232	300	0,0044	0,0180	24,50 %	<b>Cumple</b>
Piso 3	0,3314	1,0605	300	0,0035	0,0180	19,64 %	<b>Cumple</b>
Piso 4	0,1785	0,5712	300	0,0019	0,0180	10,58 %	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la estructura cumple con las derivas y los desplazamientos laterales. Por otro lado, para el reforzamiento mediante CFRP de las seis columnas que fallaron ante la aplicación de una carga mayor, la cual excede su capacidad de resistencia, se utilizaron las siguientes cantidades especificadas.

Tabla 20.

*Cantidades de material CFRP.*

<b>Material</b>	<b>Área / columna (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso / columna (kgf)</b>
SikaWrap® 300C - 50cm	4,20	1,26
Adhesivo Epoxi Sikadur®-330	4,20	7,50

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la ratio demanda/capacidad en las columnas fue la siguiente.

Tabla 21.

*Relación demanda/capacidad en columnas con CFRP.*

<b>Columna</b>	<b>Planta</b>	<b>Ratio (Demanda/Capacidad)</b>
A1, C1, A4, C4	1	0,708
A1, C1, A4, C4	2	0,703
A1, C1, A4, C4	3	0,567
A1, C1, A4, C4	4	0,513
B1, B4	1	0,690
B1, B4	2	0,478
B1, B4	3	0,325
B1, B4	4	0,221
A2, C2, A3, C3	1	0,832
A2, C2, A3, C3	2	0,842
A2, C2, A3, C3	3	0,834
A2, C2, A3, C3	4	0,932
B2, B3	1	0,921
B2, B3	2	0,744
B2, B3	3	0,460
B2, B3	4	0,229

Fuente: Elaboración propia.

Luego de estudiar el efecto de los refuerzos con CFRP en la estructura, se procedió a analizarla con las mismas cargas, pero reforzando con presillas metálicas. Por lo cual, para el dimensionamiento de los perfiles metálicos como reforzamiento de columnas, se llevó a cabo mediante angulares y presillas. Los angulares se calcularon de manera iterativa por medio del programa Etabs, evaluando el ratio de las columnas con distintos espesores de angulares.

Para poder ingresar y analizar el reforzamiento con distintos espesores en Etabs, se utilizó la herramienta “Section Designer” mediante la cual se modeló la sección transversal de la columna con el reforzamiento como se muestra a continuación.

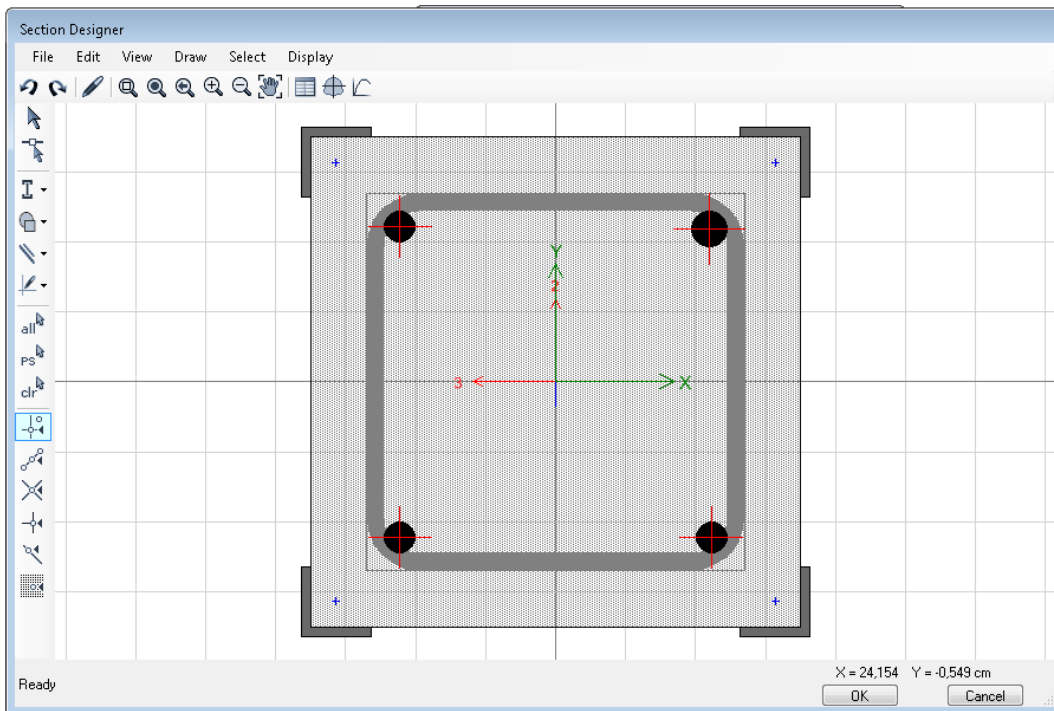


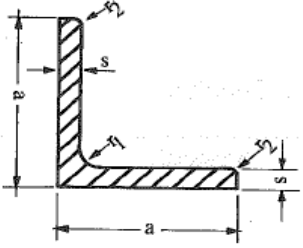
Figura 8. Modelado de Columna con presillas en la utilidad “Section Designer” de Etabs

Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual los materiales a utilizar para el refuerzo con perfiles metálicos fueron los siguiente:

Tabla 22.

*Dimensiones de angular para reforzamiento con perfiles metálicos.*

Ángulo	Dimensiones (mm)				Área (cm <sup>2</sup> )	Peso (kgf/m)	Sección
	a	s	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>			
50x7	50	7,00	7,00	3,50	6,56	5,15	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23.

*Materiales para reforzamiento con perfiles metálicos.*

Material	Área / columna (m <sup>2</sup> )	Peso / columna (kgf)
Ángulo 50x7	1,20	61,80
Pletinas 2x1/4	1,98	30,40

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las tablas 22 y 23, se expresan los tipos de angulares, así como la cantidad de material a utilizar. Seguidamente, se procedió a analizar la estructura con las nuevas características en el programa Etabs arrojando los siguientes resultados para desplazamientos y derivas.



Tabla 24.

*Desplazamientos laterales con perfiles metálicos.*

Planta	Desplazamientos (mm)	
	Desplazamientos en X	Desplazamientos en Y
4	13,946	12,147
3	11,761	10,388
2	7,923	7,051
1	3,188	2,913

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25.

*Derivas con perfiles metálicos en el sentido X.*

PISO	Diferencia de desplazamiento	Aplicando factor de seguridad	Altura de entre piso	Deriva elástica	Valor Permissible	Ratio	Verificación
	$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ cm	$\delta_i \times 0,8 \times R$ cm	$h_i - h_{i-1}$ cm	$\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$			
Piso 1	0,3153	1,5134	300	0,0050	0,0180	28,03 %	Cumple
Piso 2	0,0859	0,4123	300	0,0014	0,0180	7,64 %	Cumple
Piso 3	0,3838	1,8422	300	0,0061	0,0180	34,12 %	Cumple
Piso 4	0,2160	1,0368	300	0,0035	0,0180	19,20 %	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26.

*Derivas con perfiles metálicos en el sentido Y.*

<b>PISO</b>	Diferencia de desplazamiento $\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$ <b>cm</b>	Aplicando factor de seguridad $\delta_i \times 0,8 \times R$ <b>cm</b>	Altura de entre piso $h_i - h_{i-1}$ <b>cm</b>	Deriva elástica $\frac{\delta_i \times 0,8 \times R}{h_i - h_{i-1}}$	<b>Valor Permisible</b>	<b>Ratio</b>	<b>Verificación</b>
Piso 1	0,2907	0,9302	300	0,0031	0,0180	17,23 %	<b>Cumple</b>
Piso 2	0,4142	1,3254	300	0,0044	0,0180	24,55 %	<b>Cumple</b>
Piso 3	0,3335	1,0672	300	0,0036	0,0180	19,76 %	<b>Cumple</b>
Piso 4	0,1762	0,5638	300	0,0019	0,0180	10,44 %	<b>Cumple</b>

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se muestra la relación demanda/capacidad para las columnas reforzadas con perfiles metálicos.

Tabla 27.

*Relación demanda/capacidad con refuerzo de perfiles metálicos.*

<b>Columna</b>	<b>Planta</b>	<b>Ratio (Demanda/Capacidad)</b>
A1, C1, A4, C4	1	0,706
A1, C1, A4, C4	2	0,702
A1, C1, A4, C4	3	0,570
A1, C1, A4, C4	4	0,514
B1, B4	1	0,688
B1, B4	2	0,478
B1, B4	3	0,326
B1, B4	4	0,221
A2, C2, A3, C3	1	0,822
A2, C2, A3, C3	2	0,912
A2, C2, A3, C3	3	0,818

A2, C2, A3, C3	4	0,932
B2, B3	1	0,963
B2, B3	2	0,732
B2, B3	3	0,462
B2, B3	4	0,230

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Comparación de las propiedades mecánicas de las columnas reforzadas con polímeros y perfiles metálicos

Para el análisis del comportamiento estructural de las edificaciones con columnas reforzadas mediante polímeros reforzados con fibra de carbono, se procedió a comparar los resultados obtenidos de los diseños de dichas estructuras.

Tabla 28.

*Comparación de los desplazamientos en X en todas las estructuras.*

<b>Desplazamientos en x</b>				
<b>Nivel</b>	<b>Carga inicial</b>	<b>Carga mayorada</b>	<b>CFRP</b>	<b>Perfiles de acero</b>
4	14,835	14,204	13,946	13,953
3	12,396	12,029	11,761	11,779
2	8,351	8,196	7,923	7,953
1	3,336	3,320	3,188	3,205

Fuente: Elaboración propia.

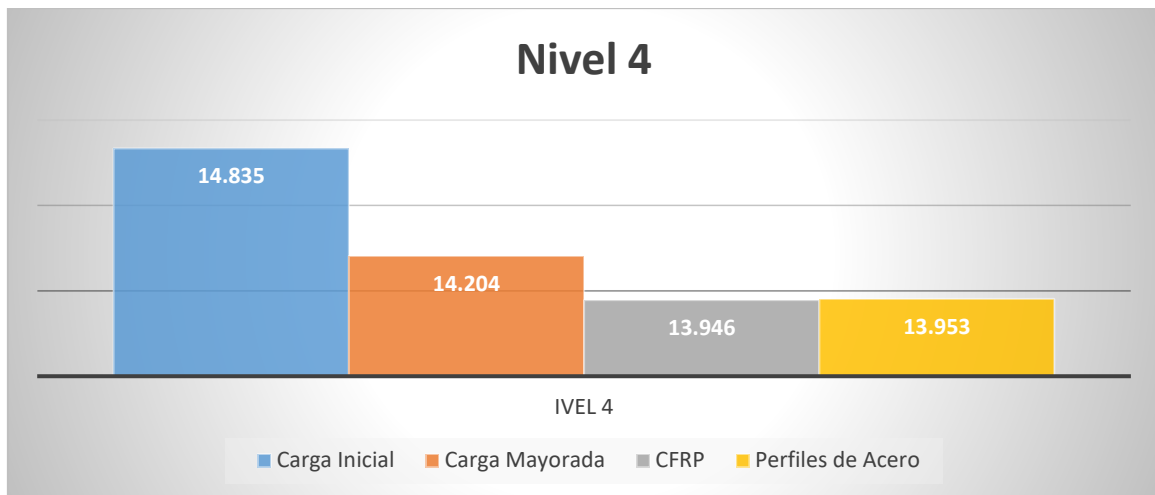


Figura 9. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 4.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 9, los desplazamientos en el nivel 4 disminuyen de 14.204 con la carga mayorada a 13.946 con el reforzamiento con el CFRP y a 13.953 con los perfiles de acero, siendo ligeramente más efectivo el CFRP.

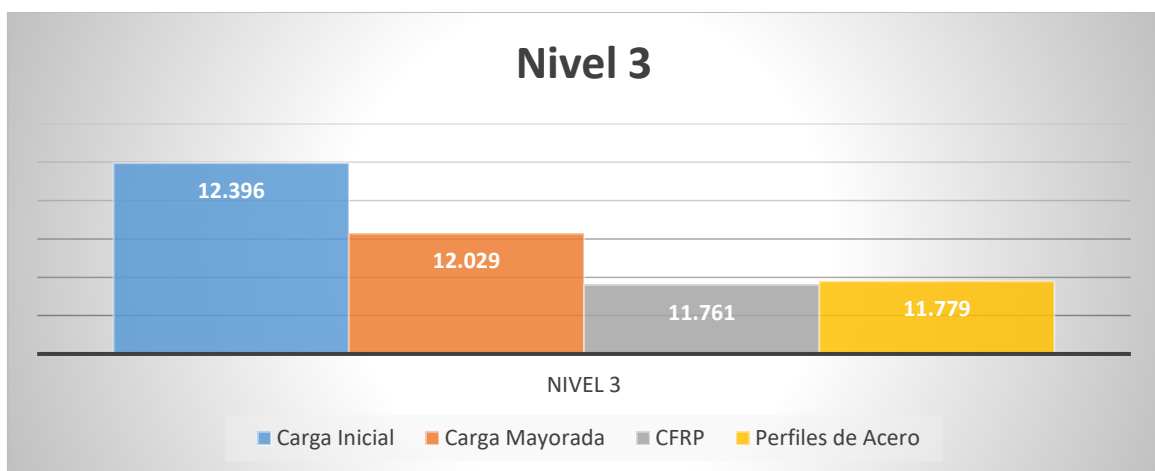


Figura 10. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 3.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 10, los desplazamientos en el nivel 3 disminuyen de 12.026 con la carga mayorada a 11.761 con el reforzamiento con el CFRP y a 11.779 con los perfiles de acero, siendo nuevamente más efectivo el CFRP.

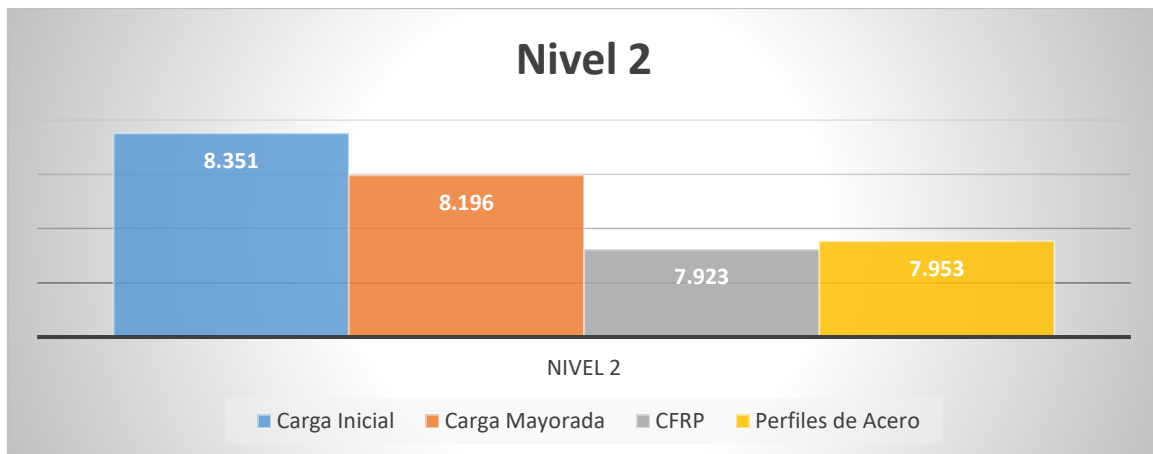


Figura 11. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 2.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 11, se continua con la tendencia anterior ya que los desplazamientos en el nivel 2 disminuyen de 8.196 con la carga mayorada a 7.823 con el reforzamiento con el CFRP y a 7.950 con los perfiles de acero, manteniéndose ligeramente menor el desplazamiento con el CFRP.

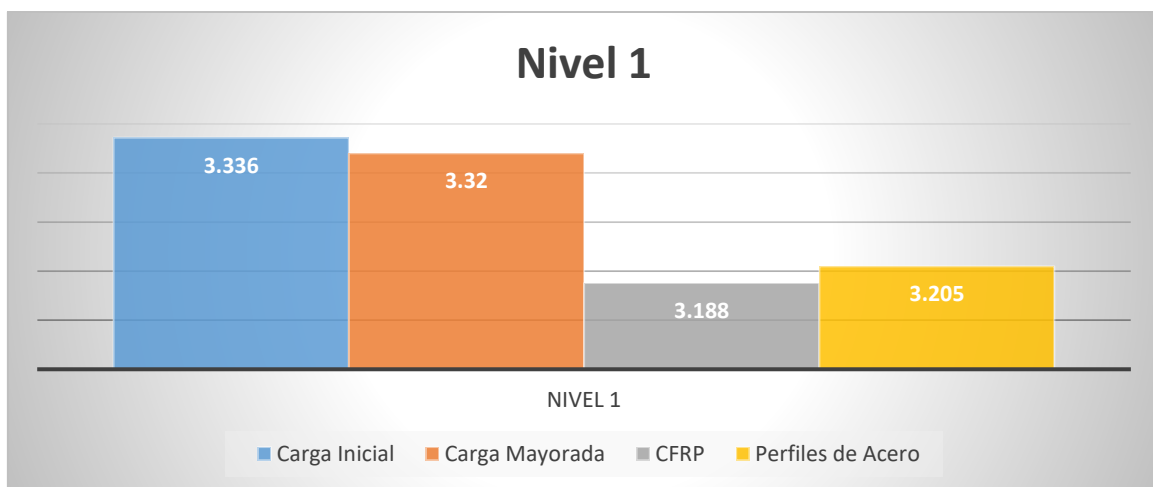


Figura 12. Comparación de desplazamientos en X en el Piso 1.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 12, al igual que las anteriores el CFRP posee un menor desplazamiento en X ya que en el nivel 1 disminuyen de 3.32 con la carga mayorada a 3.188 con el reforzamiento con el CFRP y a 3.205 con los perfiles de acero, manteniéndose ligeramente menor el desplazamiento con el CFRP.

Tabla 29.

Comparación de los desplazamientos en Y en todas las estructuras.

Nivel	Desplazamientos en Y			
	Carga Inicial	Carga mayorada	CFRP	Perfiles de acero
4	13,025	12,477	12,146	12,147
3	11,014	10,699	10,359	10,388
2	7,507	7,375	7,049	7,051
1	3,065	3,040	2,912	2,913

Fuente: Elaboración propia.

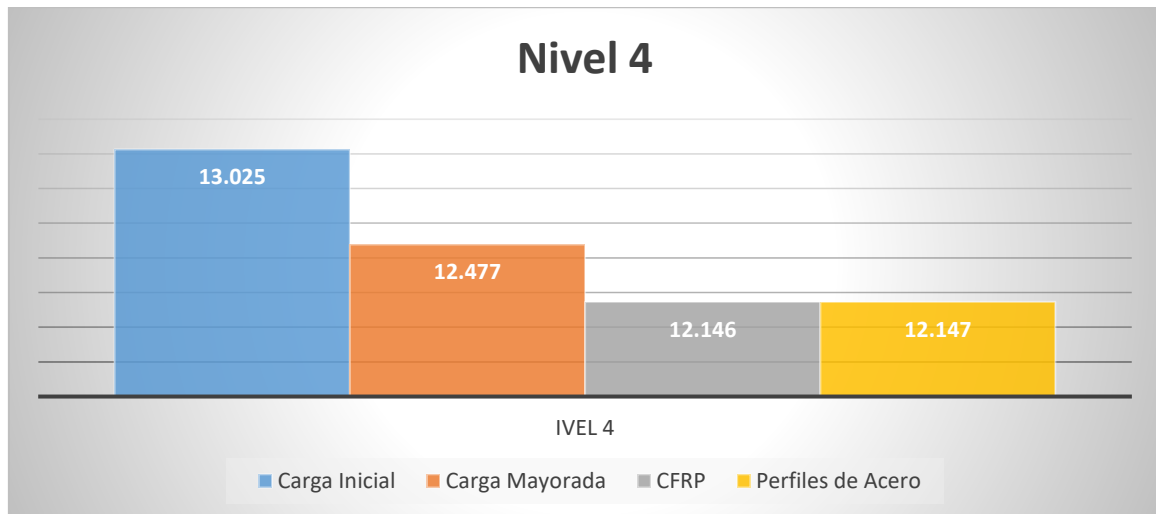


Figura 13. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 4.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, con respecto al eje Y, se obtuvo que el desplazamiento en el nivel 4 con las cargas mayoradas fue de 12.477 y al aplicarse el refuerzo con CFRP disminuyó a 12.146 y con los perfiles de acero a 12.147. Lo cual indica que en este eje y para este nivel no se observan diferencia significativa.

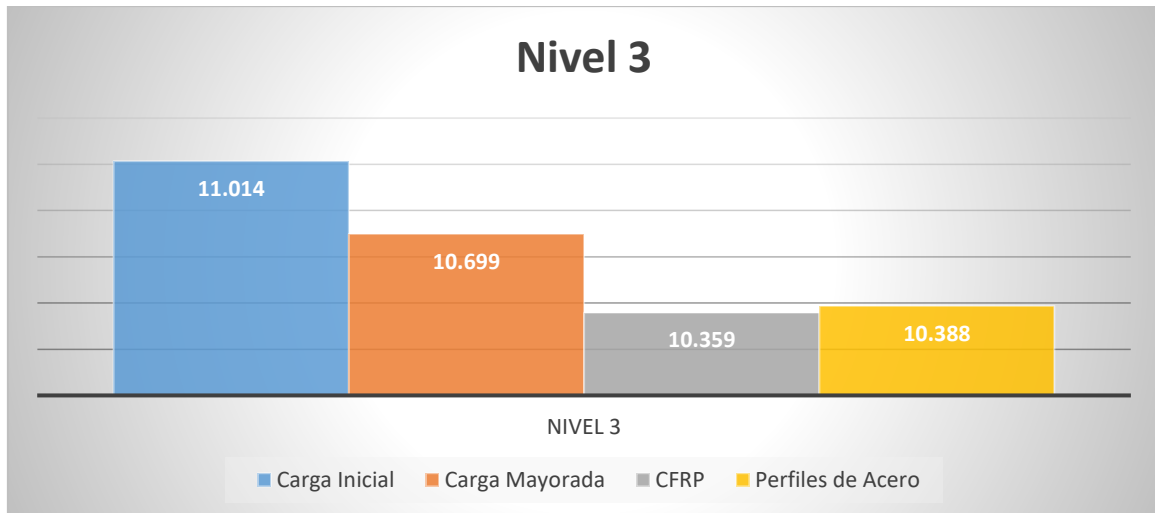


Figura 14. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 3.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, con respecto al eje Y de acuerdo a la figura 14 se obtuvo que el desplazamiento en el nivel 3 con las cargas mayoradas fue de 10.699 y al aplicarse el refuerzo con CFRP disminuyó a 10.359 y con los perfiles de acero a 10.388. Lo cual indica que en este eje y para este nivel se observa una diferencia mayor siendo el más óptimo el CFRP.

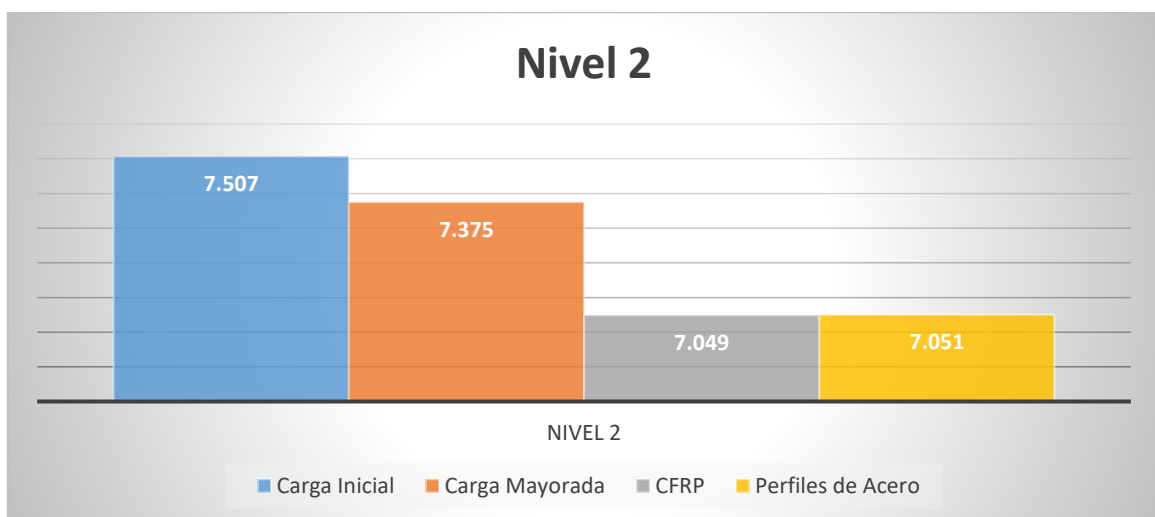


Figura 15. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 2.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 15, se obtuvo que el desplazamiento en el nivel 2 con las cargas mayoradas fue de 7.375 y al aplicarse el refuerzo con CFRP disminuyó a

7.049 y con los perfiles de acero a 7.051. Lo cual indica que el CFRP posee un menor desplazamiento.

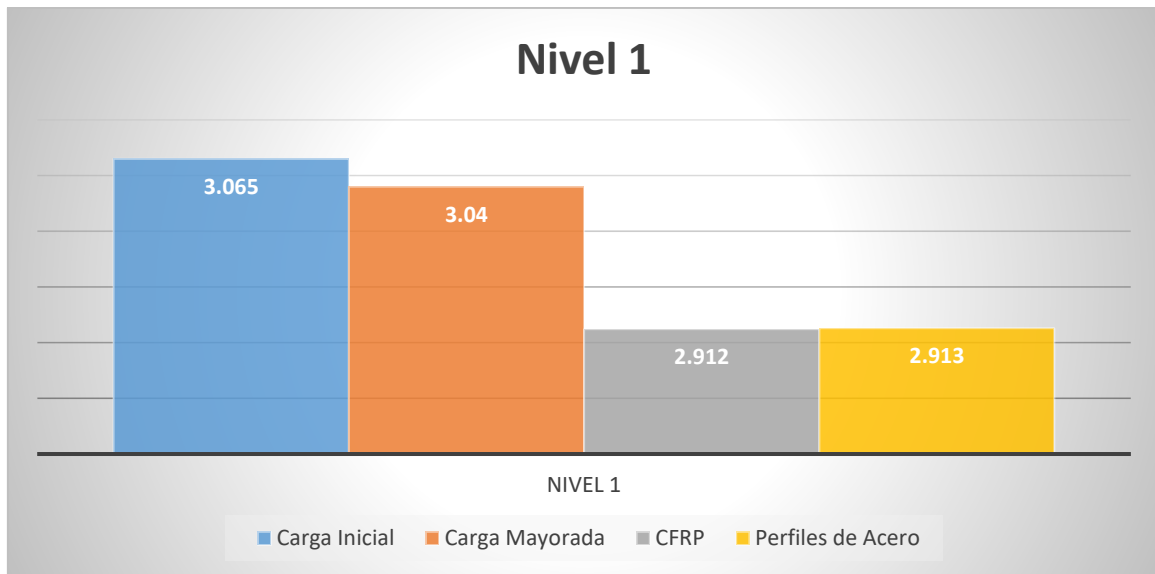


Figura 16. Comparación de desplazamientos en Y en el Piso 1.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de acuerdo a la figura 16, se obtuvo que el desplazamiento en el nivel 1 con las cargas mayoradas fue de 3.04 y al aplicarse el refuerzo con CFRP disminuyó a 2.912 y con los perfiles de acero a 2.913. Lo cual indica que en este nivel poseen un comportamiento muy similar.

Se puede apreciar que los desplazamientos realizados a través del reforzamiento de las columnas disminuyeron el valor de desplazamientos en todos los niveles de las edificaciones, sin embargo, en la estructura con columnas reforzadas con CFRP, el valor de los desplazamientos fue menor que el valor en la estructura con columnas reforzadas mediante perfiles metálicos. Esto significa que el reforzamiento mediante CFRP en columnas representa un mejor comportamiento respecto a la reducción de los desplazamientos en relación al reforzamiento con perfiles metálicos.

En todas las estructuras se puede observar un comportamiento similar, reduciendo en el caso del CFRP 2,835 % y los perfiles 2,568%, los desplazamientos en X. Así como también redujo el CFRP 3,675% y los perfiles 3,517%, los desplazamientos en Y. En los pisos más altos, el valor de los desplazamientos es mayor y va



reduciendo conforme disminuyen los niveles. Así como también, para todas las estructuras. Por otro lado, también se compararon los valores de las derivas.

Tabla 30.

*Comparación de las derivas en X en todas las estructuras.*

Nivel	Derivas en X			
	Carga Inicial	Carga mayorada	CFRP	Perfiles de acero
4	0,0053	0,0053	0,0051	0,0050
3	0,008	0,0078	0,0076	0,0076
2	0,0065	0,0061	0,0061	0,0061
1	0,0038	0,0034	0,0034	0,0035

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31.

*Comparación de las derivas en Y en todas las estructuras.*

Nivel	Derivas en Y			
	Carga Inicial	Carga mayorada	CFRP	Perfiles de acero
4	0,0033	0,0032	0,0031	0,0031
3	0,0047	0,0046	0,0044	0,0044
2	0,0037	0,0035	0,0035	0,0036
1	0,0021	0,0019	0,0019	0,0019

Fuente: Elaboración propia.

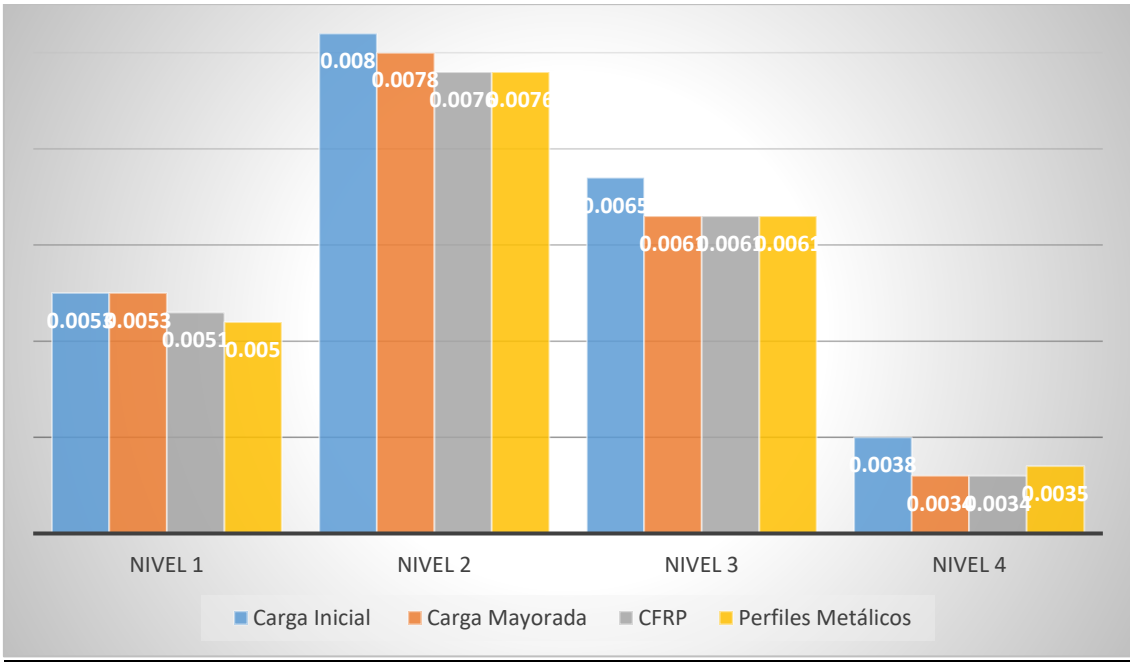


Figura 17. Comparación de derivas en X en todos los pisos.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 17, en cuanto a las derivas en el eje X se observó un comportamiento similar en todos los niveles, existiendo diferencias en el nivel 1 y 4 de solo 0.0001 entre los métodos de refuerzo.

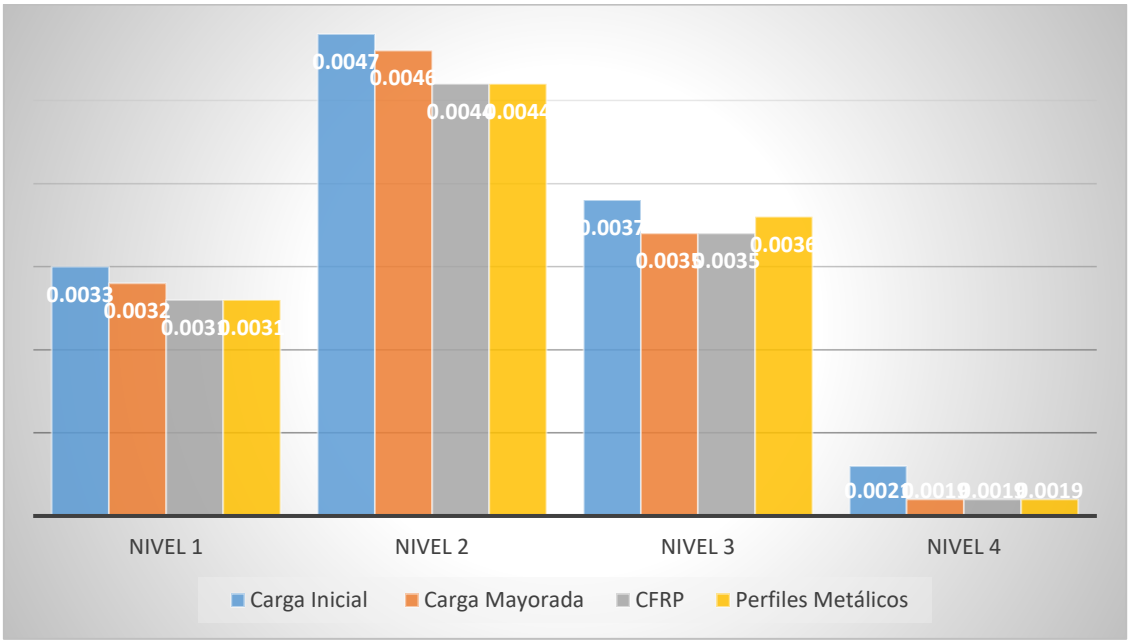


Figura 18. Comparación de derivas en Y en todos los pisos.

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, la figura 18 se puede observar que, en cuanto a las derivas en el eje Y se tuvo un comportamiento similar en todos los niveles, existiendo diferencias en el nivel 3 de solo 0.0001 entre los métodos de refuerzo, siendo menor el CFRP.

Se observa en el comportamiento de las derivas de las estructuras que el reforzamiento de las columnas disminuyó el valor de desplazamientos en todos los niveles de las edificaciones, presentando el CFRP una reducción del 1.060% en comparación a los perfiles. Del mismo modo, se observó que la mayor diferencia entre el efecto de los reforzamientos en las derivas es en el nivel 3 de las edificaciones; entendiéndose que el reforzamiento mediante CFRP en columnas representa un mejor comportamiento respecto a la reducción de las derivas en relación al reforzamiento con perfiles metálicos.

Por otro lado, se evaluó la cantidad de materiales a utilizar para el reforzamiento mediante CFRP y el reforzamiento con perfiles de acero.

Tabla 32.

*Comparación de los materiales para el reforzamiento.*

<b>Reforzamiento</b>	<b>Material</b>	<b>Área / columna (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Peso / columna (kgf)</b>	<b>Cantidad</b>
<b>CFRP</b>	SikaWrap® 300C - 50cm	4,20	1,26	5 Tejidos
	Adhesivo Epoxi Sikadur®-330	4,20	7,50	2 Lotes de 5kg
<b>Perfiles de Acero</b>	Ángulos 50x7	1,20	61,80	72 m
	Pletinas 2x1/4	1,98	30,40	

Fuente: Elaboración propia.

Dados estos resultados, se nota la diferencia entre la cantidad de material a utilizar, además del peso proporcionado a las estructuras. El reforzamiento mediante perfiles de acero, aunque aumenta de una manera ventajosa la resistencia a la compresión de las columnas por la consideración del elemento estructural como

una estructura mixta, en comparación con el CFRP, representa un aumento de carga permanente para las estructuras, así como también una gran cantidad de material a utilizar. Por otro lado, el CFRP no representa grandes valores respecto a su peso y cantidad, sin embargo, se debe tener presente la relación de la cantidad y el costo de los materiales.

Finalmente se evaluó la Relación demanda capacidad de las columnas reforzadas.

Tabla 33.

*Comparación de los ratios demanda/capacidad.*

<b>Columna</b>	<b>Planta</b>	<b>Carga Inicial</b>	<b>Carga Mayorada</b>	<b>CFRP</b>	<b>Perfiles de Acero</b>
<b>A1, C1, A4, C4</b>	1	0,702	0,730	0,708	0,706
<b>A1, C1, A4, C4</b>	2	0,646	0,714	0,703	0,702
<b>A1, C1, A4, C4</b>	3	0,497	0,562	0,567	0,570
<b>A1, C1, A4, C4</b>	4	0,477	0,511	0,513	0,514
<b>B1, B4</b>	1	0,872	0,708	0,690	0,688
<b>B1, B4</b>	2	0,469	0,489	0,478	0,478
<b>B1, B4</b>	3	0,317	0,327	0,325	0,326
<b>B1, B4</b>	4	0,239	0,225	0,221	0,221
<b>A2, C2, A3, C3</b>	1	0,895	0,907	0,832	0,822
<b>A2, C2, A3, C3</b>	2	0,998	1,051	0,842	0,912
<b>A2, C2, A3, C3</b>	3	0,796	0,925	0,834	0,818
<b>A2, C2, A3, C3</b>	4	0,768	0,916	0,932	0,932
<b>B2, B3</b>	1	0,895	1,134	0,921	0,963
<b>B2, B3</b>	2	0,657	0,746	0,744	0,732
<b>B2, B3</b>	3	0,430	0,456	0,460	0,462
<b>B2, B3</b>	4	0,252	0,233	0,229	0,230

Fuente: Elaboración propia.

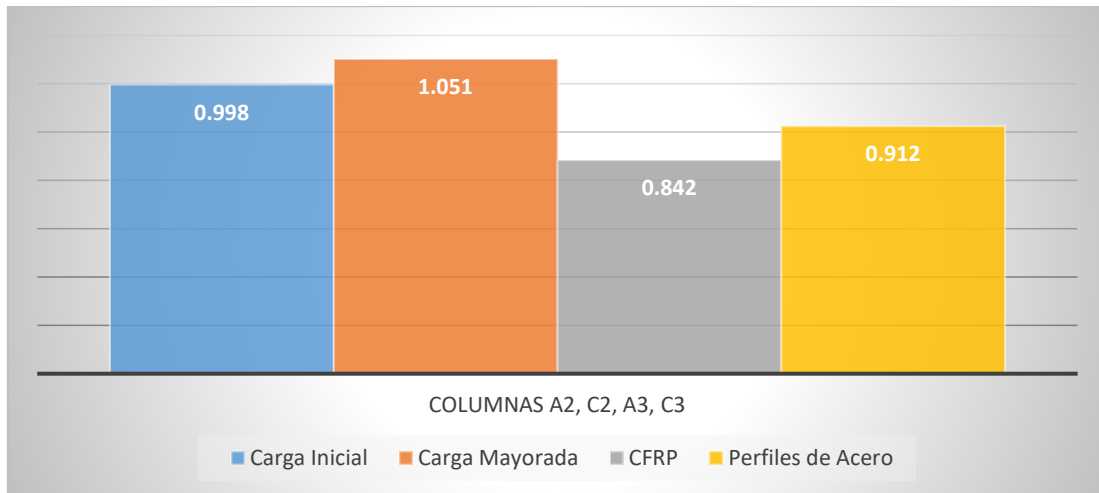


Figura 19. Valores de relación demanda/capacidad para cuatro columnas que necesitaron de reforzamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 19 se observa que para las columnas A2, C2, A3 y C3 fallaron al mayorar las cargar ya que su ratio demanda/capacidad excedió a la unidad, sin embargo, al reforzarlo se obtuvo que para el CFRP disminuyó a 0.842 y a 0.912 para los perfiles de acero, siendo el CFRP el que posee un mejor comportamiento estructural.

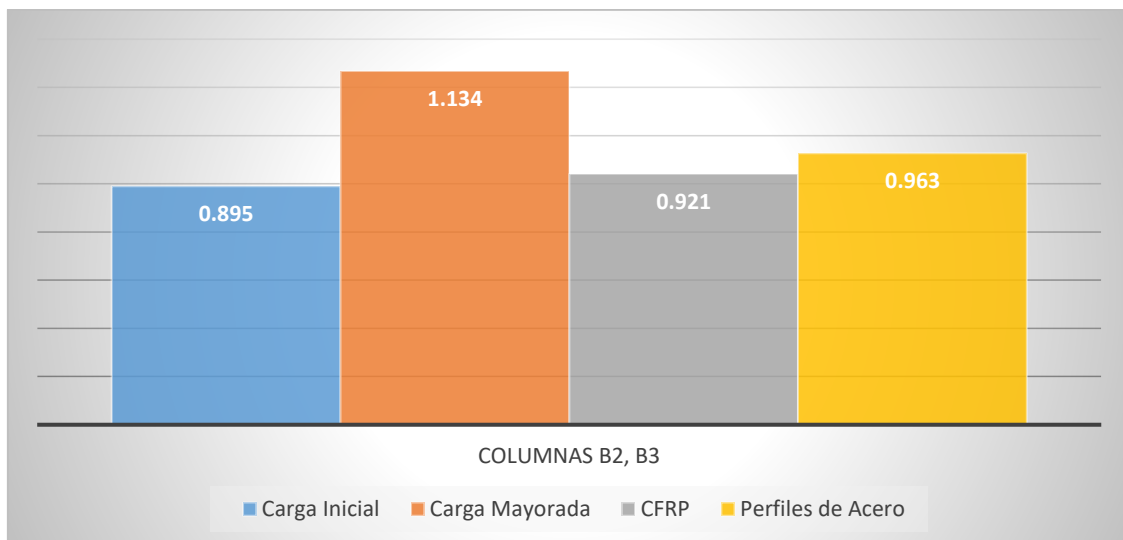


Figura 20. Valores de relación demanda/capacidad para dos columnas que necesitaron de reforzamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la figura 20 se observa que las columnas B2 y B3 fallaron al mayorar las cargas ya que su ratio demanda/capacidad excedió a la unidad, sin embargo, al reforzarlo se obtuvo que para el CFRP disminuyó a 0.921 y a 0.963 para los perfiles de acero, siendo el CFRP el que posee un mejor comportamiento estructural.

En estos resultados del análisis estructural en la relación demanda/capacidad para las columnas en las estructuras aperticadas de concreto armado, se puede observar que las columnas más solicitadas de las estructuras fueron las A2, C2, A3, C3, B2 y B3. Al comparar los resultados de las columnas con los dos tipos de reforzamiento y el comportamiento en las columnas sin reforzar, en las columnas reforzadas la relación demanda/capacidad disminuye para las columnas A2, C2, A3, C3, un 6,66% menos en el CFRP en relación a las placas de acero y 3,704 en las columnas B2 y B3.

Siendo en las columnas reforzadas mediante CFRP menor la relación demanda/capacidad, esto significa que en estas columnas la capacidad de carga es menor o cercana a la demanda que se le está aplicando luego del cambio de uso, todo esto debido a que el reforzamiento está brindándole la capacidad necesaria para soportar las nuevas cargas generadas en las columnas; situación que también se muestra en las columnas reforzadas con perfiles metálicos sólo que en una medida un poco menor.

## V. DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la presente tesis se planteó el uso de fibras de carbono reforzadas con polímeros como refuerzo para estructuras de concreto y compararlas con las técnicas más tradicionales como lo es el refuerzo con perfiles metálicos. Cabe señalar también que la estructura está sujeta a diversas cargas que pueden variar a lo largo de su vida, como las cargas permanentes que afectan al edificio, cuyas dimensiones pueden considerarse constantes a lo largo del tiempo, las cargas causadas por el peso de los elementos estructurales y no estructurales: losas, rellenos, muros, tabiques, frisos, instalaciones fijas, entre otros.

Para ello, se diseñó una estructura de 4 pisos, agregándoles las cargas permanentes expuestas en la norma E-60, así como las cargas variables que en primer lugar sería para un uso de vivienda lo cual sería 200 kgf/m<sup>2</sup>, del mismo modo se tomaron en cuenta los factores sísmológicos expuestos en la norma. Obteniendo en predimensionamiento vigas de 0,35x0,25m y para columnas 0,45x0,45m. Con estos datos se procedió a analizar la estructura con el programa Etabs, para analizar los parámetros de derivas, desplazamientos laterales y la ratio demanda/capacidad, lo cuales estuvieron dentro de los niveles aceptables.

Luego de esto se planteó hacer un cambio de uso en la estructura pasando de un uso de vivienda a una sala de archivo, aumentando la carga variable de entrepiso a 500 kgf/m<sup>2</sup>. Encontrándose que con la nueva carga fallaron 6 columnas. Y aunque pasa las pruebas de deriva y desplazamientos no cumple con la ratio demanda/capacidad en las columnas A2, C2, A3, C3, B2, B3 ya que es mayor que la unidad, se puede afirmar que la demanda ha superado a la capacidad de los elementos.

En este punto se buscó aplicar los dos tipos de refuerzos, primero se probó el CFRP el cual es un material compuesto que consisten en un gran número de fibras continuas o intermitentes incrustadas en una matriz de resina o polímero, siendo las fibras las principales responsables de las propiedades de resistencia del material compuesto, mientras que la matriz se encarga de envolver las fibras para la forma geométrica del material y de la transferencia de la tensión entre las fibras

y de protegerlas de posibles daños mecánicos y/o ambientales para el cual se utilizó el programa Sika CarboDur para determinar la cantidad de material necesario para el refuerzo encontrándose que se necesitan dos capas de SikaWrap® 300C. Como resultado se observó que cumplió de nuevo con los tres parámetros (derivadas, desplazamientos y ratio demanda/capacidad).

Se aplicó el mismo proceso con el refuerzo con perfiles metálicos, siendo la manera tradicional de refuerzo es a través del uso de angulares y perfiles metálicos, como ventajas principales de este método de refuerzo se encuentran, la rapidez de ejecución y que la puesta en carga es inmediata, a diferencia de los recrecidos de concreto que tienen la necesidad de esperar un tiempo de endurecimiento para conseguir las resistencias buscadas. Este método consiste en la colocación de angulares de acero en las cuatro esquinas de la columna a reforzar sujetándolos lateralmente con presillas soldadas a ellos. El cual también cumplió con los parámetros analizados.

Como resultado se tuvo que el comportamiento de las derivadas de las estructuras que el reforzamiento de las columnas disminuyó el valor de desplazamientos en todos los niveles de las edificaciones, presentando el CFRP una reducción del 1.060% en comparación a los perfiles. Del mismo modo, se observó que la mayor diferencia entre el efecto de los reforzamientos en las derivadas es en el nivel 3 de las edificaciones; entendiéndose que el reforzamiento mediante CFRP en columnas representa un mejor comportamiento respecto a la reducción de las derivadas en relación al reforzamiento con perfiles metálicos.

La diferencia entre la cantidad de material a utilizar y el peso aportado a las estructuras también es notable. El refuerzo mediante secciones de acero, aunque aumenta ventajosamente la resistencia a la compresión de los pilares debido a la consideración del componente como una estructura mixta en comparación con el CFRP, representa un aumento de la carga permanente para las estructuras, así como una gran cantidad de material a utilizar. Por otro lado, el CFRP no representa grandes valores en cuanto a su peso y cantidad, pero hay que considerar la relación entre la cantidad y el coste de los materiales.



En estos resultados del análisis estructural en la relación demanda/capacidad para los pilares de las estructuras de pórtico de hormigón armado, se puede observar que los pilares más tensionados de las estructuras fueron A2, C2, A3, C3, B2 y B3. Comparando los resultados de los pilares con los dos tipos de refuerzo y el comportamiento en los pilares sin reforzar, en los pilares reforzados la relación demanda/capacidad disminuye para los pilares A2, C2, A3, C3, un 6,66% menos en el CFRP en relación a las placas de acero y un 3,70% en los pilares B2 y B3.

Esto significa que en estos pilares la capacidad de carga es menor o cercana a la carga que se produce tras el cambio de uso, y esto se debe a que el refuerzo proporciona la capacidad de carga necesaria para las nuevas cargas generadas en los pilares; situación que también se presenta en los pilares reforzados con perfiles metálicos, sólo que en un grado ligeramente menor que en los pilares reforzados con perfiles metálicos.

Los resultados son coherentes con lo encontrado por **Villasevil (2016)**, el cual encontró que el modelo propuesto puede reproducir el comportamiento de las vigas de hormigón armado con FRP en forma de U con una buena indicación de la fuerza cortante última, el desplazamiento de corte, la deformación de corte del FRP, del acero y la resistencia de corte del FRP. También muestra la delaminación prematura del FRP y el estrés con el que se libera para predecir la carga de ruptura.

Del mismo modo se concuerda con **Revollo y Delgadillo (2017)**, los cuales afirman que el refuerzo compuesto de FRP es un material mucho más avanzado en la investigación y tiene propiedades de tensión superiores y resistencia a los medios agresivos en comparación con el refuerzo de perfil metálico que se ha utilizado durante muchos años. Aunque se encontraron variaciones menos representativas en esta investigación se llegó a un resultado similar.

En cuanto a la investigación de **Alegre (2017)** indicó que El aumento de la resistencia a la flexión alcanzó el 58,9% en la sección con menor cantidad de acero, y en la sección con mayor cantidad de acero el aumento de la resistencia alcanzó el 18,4%. De igual modo, se demostró que el comportamiento de la CFRP es casi lineal hasta que alcanza el estado de fallo por el que se considera un material

quebradizo. Aunque esta investigación se enfocaba en vigas y el presente en columnas, ambos elementos tienen comportamientos similares.

Para **Santos (2019)**, la resistencia a la flexión de las vigas de hormigón armado cuando están reforzadas con placas de carbono aumenta en un 59,8% a 63,6%, lo que indica que las fibras de carbono aumentan la resistencia a la flexión de las vigas y también reducen significativamente la plasticidad de las mismas, evitando así una desviación excesiva. Esta tesis presenta valores muchos mayores a los de la presente tesis sin embargo se logra una mejora importante y útil para las estructuras concluyendo que el CFRP es un método viable.

## VI. CONCLUSIONES

Al tener un problema en una estructura, como es el cambio de uso de las edificaciones, es necesario aplicar un método de refuerzo que sea práctico y de inmediata aplicación para incrementar la capacidad de carga del elemento estructural y así poder subsanar el problema que se tiene debido al cambio de uso. Con la investigación realizada, se llegó a la conclusión que las estructuras apertadas de concreto armado presentan un buen comportamiento tanto ante el reforzamiento de columnas por medio de Polímeros Reforzados con Fibras de Carbono (CFRP) como ante el reforzamiento de columnas con perfiles metálicos.

Las columnas reforzadas con CFRP y las columnas reforzadas con perfiles metálicos, ofrecen un aporte a la disminución de los desplazamientos en la estructura siendo las reforzadas con CFRP las que presentan un nivel un poco mayor de rigidez. Sin embargo, ambos métodos de reforzamiento ayudan en gran manera a mantener una estabilidad ante grandes cargas generadoras de desplazamiento en las estructuras.

Respecto a los valores de deriva, se observó que el CFRP presenta una disminución para dichos valores, lo que significa que, al igual que los perfiles metálicos, son buenos reforzamientos ante los efectos de desplazamiento para escenarios de alta actividad sísmica.

Además, en comparación con la cantidad de material a utilizar y el peso que estos materiales representan, los perfiles de acero tienen un peso mayor al material compuesto CFRP; siendo el reforzamiento con este último positivo para las estructuras ya que no les aportan mayor carga a las edificaciones.

Por otra parte, en la relación demanda/capacidad, se observó cómo aumentaron los valores para la estructura con cargas mayoradas y sin reforzamiento. También se pudo ver cómo los métodos de reforzamiento le aportaron una mayor capacidad de carga a las columnas reforzadas, obteniendo valores aceptables de las columnas con perfiles de acero y valores bastante positivos ante las columnas reforzadas con CFRP.

Se puede concluir que el reforzamiento de columnas en estructuras aporticadas de concreto armado mediante CFRP sería una buena opción alternativa a el reforzamiento con perfiles metálicos, ya que ayudan considerablemente a las edificaciones ante las deformaciones y desplazamientos a los que puedan estar sometidos, aumentando así el nivel de seguridad de la construcción. Asimismo, el reforzamiento mediante CFRP puede ser utilizado en altas zonas sísmicas como reforzamiento, ya que según los resultados se observó que disminuyeron los valores de desplazamientos y derivas en las estructuras, al igual que con los perfiles de acero.

Para finalizar, se entiende que la reparación y refuerzo de estructuras aporticadas de concreto armado mediante CFRP, se presenta como una alternativa interesante frente a los sistemas tradicionales de intervención como los perfiles metálicos, debido a las grandes prestaciones mecánicas de estos nuevos materiales, proporcionando mayores relaciones resistencia, rigidez y peso, un buen comportamiento frente a la corrosión, facilidad y rapidez de puesta en obra, además de no ser necesaria mano de obra especializada.

## VII. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis completo de una estructura aporricada con necesidad de reforzamiento debido a un cambio de uso, tomando en cuenta otros elementos que componen dicha estructura.
- Estudiar las medidas de control, los métodos de aplicación y la supervisión para el reforzamiento de las columnas tanto con los Polímeros Reforzados con Fibra de Carbono (CFRP) como con perfiles metálicos.
- Analizar estructuras aporricadas de concreto armado que necesiten reforzamiento con CFRP o perfiles metálicos en edificaciones mayores de 4 pisos.
- Realizar un análisis económico comparativo entre el reforzamiento con perfiles metálicos y con CFRP.
- Realizar un análisis comparativo entre los criterios de diseño de las Normas ACI 440.2R-08 y el programa Sika CarboDur para el reforzamiento de elementos estructurales mediante CFRP.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, F., & Quiñones, N. (2018). *Evaluación estructural del edificio centro Loyola de la Universidad Católica Andrés Bello con base en las normas Covenin 1756-01. [Tesis de pregrado]*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas. Obtenido de <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT6464.pdf>
- Alegre, G. (2017). *Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9254>
- Altin, M., & Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. *Defence Technology*, 14(4), 318-326. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914717302040>
- Banrepcultural. (2020). *Red cultural del Banco de la República de Colombia*. Obtenido de Las nuevas tecnologías de las comunicación: [https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Las\\_nuevas\\_tecnolog%C3%ADas\\_de\\_la\\_comunicaci%C3%B3n#:~:text=Las%20nuevas%20tecnolo g%C3%ADas%20se%20refieren,llevar%20a%20cabo%20la%20comunicaci%C3%B3n](https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Las_nuevas_tecnolog%C3%ADas_de_la_comunicaci%C3%B3n#:~:text=Las%20nuevas%20tecnolo g%C3%ADas%20se%20refieren,llevar%20a%20cabo%20la%20comunicaci%C3%B3n).
- Bazan, J., & Fernandez, V. (2019). Evaluación sobrerresistencia a la flexión de vigas de concreto armado reforzado con bandas de FRP. *XII Chilean Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, 1-8. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Bazan2/publication/334520024\\_EVALUATION\\_OF\\_BENDING\\_OVER-STRENGTH\\_OF\\_REINFORCED\\_CONCRETE\\_BEAMS\\_STRENGTHENED\\_WITH\\_FRP/links/5d2f516a458515c11c391e7f/EVALUATION-OF-BENDING-OVER-STRENGTH-OF-REINFORCED-CONCRETE-BEAMS-](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Bazan2/publication/334520024_EVALUATION_OF_BENDING_OVER-STRENGTH_OF_REINFORCED_CONCRETE_BEAMS_STRENGTHENED_WITH_FRP/links/5d2f516a458515c11c391e7f/EVALUATION-OF-BENDING-OVER-STRENGTH-OF-REINFORCED-CONCRETE-BEAMS-)
- Bejarano, A., Serrano, M., & Pérez, D. (2019). Estrategia de reflexión para enseñanza de proyectos de construcción en Ingeniería Civil. *Alteridad*, 14(1), 122-137. Obtenido de

<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/alteridad/v14n1/1390-325X-Alteridad-14-01-000122.pdf>

Bernedo, D. (2018). *Análisis de los efectos de las cargas excéntricas en la cimentación de edificios con sótano. [Tesis de grado]*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13155/BERNEDO\\_DASK\\_CARGAS\\_EXCENTRICAS\\_EDIFICIOS\\_SOTANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13155/BERNEDO_DASK_CARGAS_EXCENTRICAS_EDIFICIOS_SOTANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Carrasco Díaz, S. (2017). *Metodología de la investigación*. Lima - Perú: San Marcos.

Del Rosal, J. (2017). Durabilidad y patología del concreto. *Construcción y tecnología en concreto*, 6(12), 14-15. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>

Duque, A., Rojas, F., Rodríguez, H., & Vielma, J. (2017). Análisis del nodo exterior viga-columna en hormigón armado reforzado con polímero de fibra de carbono. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 22(2), 113-134. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/641>

Espinoza, L., & Moreno, J. (2018). *Rediseño estructural de una edificación familiar de dos niveles en la Urbanización San Miguel, Huaraz 2018. [Tesis de grado]*. Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26700>

Flores, L. (2018). *Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Huesca*. Obtenido de Reforzando edificaciones con fibras de carbono: <http://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/1268/ZABAGLIA%2010%20OCT-12.%20pp.%2018-23.%20Reforzando%20edificaciones%20con%20fibra%20de%20carbono.pdf?sequence=1>

- Geier, N., Davim, P., & Szalay, T. (2019). Advanced cutting tools and technologies for drilling carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 1-15. Obtenido de <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X1930301X>
- Hempapriya, M. (2017). repair of damaged reinforced concrete beam by externally bonded. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 116(13), 473-479. Obtenido de <https://www.acadpubl.eu/jsi/2017-116-13-22/articles/13/74.pdf>
- Hernández, E. (2017). Construcción durable -Una visión de futuro para Nicaragua. *Arquitectura+*, 2(4), 8-12. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/287243140>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGrawHill.
- Hernandez, R., Fernandez, c., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). Mexico D.F: McgrawHill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hierro, J., Aznar, A., Hernando, J., De la Torre, J., & Ortiz, J. (2014). Criterios para el refuerzo de estructuras metálicas: Rehabilitación del "Círculo de Bellas Artes" y la "Casa Encendida". *Revista ingeniería de construcción*, 29(2), 133-149. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732014000200001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000200001)
- Jianglin, J., & Feng, Z. (2019). A critical review and assessment for FRP-concrete bond systems with epoxy resin exposed to chloride environments. *Composite Structure*, 229(2), 11-45. doi:10.1016/j.compstruct.2019.111372
- Jimenez, J., & Sánchez, P. (2017). Evaluación numérica y experimental de la respuesta dinámica de un faro fabricado mediante polímeros reforzados



- con fibra. *Hormigón y Acero*, 68(282), 121-128. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S043956891730027X>
- López, N., Ugel, R., & Herrera, R. (2018). Análisis de una junta experimental de columna y vigas de concreto armado-columna de acero para pórticos utilizando correlación de imágenes digitales. *Gaceta Técnica*, 19(1), 25-42. Obtenido de <https://revistas.uclave.org/index.php/gt/article/view/84>
- Marcos, C., Torres, J., & Vilchez, G. (2018). *Nivel de conocimiento y aplicación de las medidas de bipseguridad de la enfermera(o) del servicio de emergencia del hospital Cayetano Heredia 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Cayetano Heredi, Lima. Obtenido de [http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3725/Nivel\\_MarcosMontero\\_Cynthia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3725/Nivel_MarcosMontero_Cynthia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Moya, J., & Cando, L. (2016). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado*. [Tesis de grado]. Universidad Central de Ecuador. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8007>
- Ospina, E., & López, J. (2019). *Efectividad de las técnicas de revestimiento más comunes para el reforzamiento de columnas de concreto reforzado*. [Tesis de especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Obtenido de [http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15806/1/LopezJonathan\\_2019\\_RevestimientoReforzamientoColumnas.pdf](http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15806/1/LopezJonathan_2019_RevestimientoReforzamientoColumnas.pdf)
- Pan American Health Organization. (2002). *La Salud en Las Americas - Volumen 1* (Vol. 1). Buenos Aires. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=TBeDH\\_JzAv0C&printsec=frontcover&dq=reducci%C3%B3n+de+peligro+de+enfermedades+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiCnqppxJHtAhUizlkKHdD7CCw4FBD0ATAJegQICBAC#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=TBeDH_JzAv0C&printsec=frontcover&dq=reducci%C3%B3n+de+peligro+de+enfermedades+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiCnqppxJHtAhUizlkKHdD7CCw4FBD0ATAJegQICBAC#v=onepage&q&f=false)
- Pavisc, Y. (2017). *Reforzamiento y reparación estructural de pilares en edificaciones de hormigón armado*. Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador. Obtenido de

<http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2000/1/TESIS%20Para%20IMPRESION.pdf>

- Pujol, M. (2020). *Refuerzo a cortante de estructuras de hormigón armado con laminados de polímeros reforzados con fibras (FRP) : verificación experimental. [Tesis Doctoral]*. Universitat Politècnica de Catalunya, Cataluña, España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/121015>
- Quizanga, D., Lema, S., & Méndez, J. (2019). *Determinación del desempeño de estructuras aporricadas de hormigón armado con y sin mampostería en la ciudad de Quito. [Tesis de grado]*. Universidad Central de Ecuador, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18079>
- Restrepo, C., & Taboro, J. (2017). El mercado colombiano del acero estructural en el contexto de la globalización. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(38), 339-359. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151354939005.pdf>
- Revollo, A., & Delgadillo, M. (2017). Análisis y diseño para el reforzamiento de columnas de hormigón armados con material FRP y perfiles metálicos. *Journal Boliviano de Ciencias*, 54-62. Obtenido de [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/jbc/v13n40/v13n40\\_a07.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/jbc/v13n40/v13n40_a07.pdf)
- Roldán, N. (2017). *Economipedia*. Obtenido de Comercio exterior: <https://economipedia.com/definiciones/comercio-exterior.html>
- Santos, M. (2019). Variación de la resistencia a la flexión de vigas de concreto armado al ser reforzadas con láminas de fibras de carbono (CFRP). *Revista Ciencia y Tecnología*, 75-86. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2663/2701>
- Sika. (2016). *Refuerzo de estructuras de concreto mediante FRP*. Obtenido de [https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/Sist\\_Reforz\\_Sika\\_Carb\\_oDur\(2016\).pdf](https://www.usmp.edu.pe/vision2017/pdf/materiales/Sist_Reforz_Sika_Carb_oDur(2016).pdf)

- Sika. (2016). *SikaWrap®-300 C*. Obtenido de <https://chl.sika.com/dms/getdocument.get/30a8a417-f4c8-3125-a216-8c939911b549/SikaWrap-300C.pdf>
- Tiempo Minero. (2020). *Metalurgia entre las afectadas por cese de actividades*. Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero/metalurgia-entre-las-afectadas-por-cese-de-actividades/>
- Urdaneta, H. (2018). Estudio comparativo del comportamiento sismorresistente de una estructura mixta acero - concreto con aisladores elastoméricos de neopreno. *Revista tecnico científica URU(15)*. Obtenido de <http://uruojs.insiempr.com/ojs/index.php/tc/article/view/158/102>
- Urich, A. (2013). Uso del FRP para reparaciones y refuerzos, ventajas y limitaciones. *XVI JORNADAS DE INGENIERÍA CIVIL*, 1-11. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/341611127\\_Uso\\_del\\_FRP\\_para\\_Reparaciones\\_y\\_Refuerzos\\_Ventajas\\_y\\_Limitaciones](https://www.researchgate.net/publication/341611127_Uso_del_FRP_para_Reparaciones_y_Refuerzos_Ventajas_y_Limitaciones)
- Valois, J. (2017). *Análisis lineal, diseño estructural y análisis no lineal estático de edificación habitacional de acero estructural. [Tesis de maestría]*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/34362>
- Villasevil, G. (2016). *Refuerzo a cortante con laminados FRP. Estudio del desprendimiento prematuro del refuerzo. [Tesis de grado]*. Escola de Camins, Barcelona, España. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/101338/Refuerzo%20a%20cortante%20con%20laminados%20FRP.%20Estudio%20del%20desprendimiento%20prematuro%20del%20refuerzo.pdf>
- Zamora, D., & Llanes, C. (2018). Reforzamiento de columnas de hormigón armado a través del uso de tejidos de Polímeros Reforzados con Fibras (PRF). *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 12(3), 1-13. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6759923>

## ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Columnas de concreto armado	las columnas tienen el propósito primordial de las columnas es el de recibir las cargas verticales que les transmiten los elementos del entrepiso y las columnas de los pisos superiores, para llevarlas de forma segura al suelo por medio de una fundación (López, Ugel, & Herrera, 2018).	Es un elemento estructural compuesto de concreto y de acero encargado de soportar y transmitir cargas verticales en una edificación aporticada.	Concreto Acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición</li> <li>• Resistencia nominal</li> <li>• Tipo</li> <li>• Resistencia nominal</li> </ul>	Nominal
Polímeros reforzados con fibras (FRP)	son materiales compuestos formados por un gran número de fibras en forma continua o discontinua embebidas en una resina o matriz polimérica, donde las fibras son, esencialmente, responsables de las propiedades resistentes del material compuesto, mientras que la matriz se encarga de envolver las fibras para dar la configuración geométrica al material (Pujol, 2020).	Es un método de refuerzo que usa polímeros y fibras para aumentar la resistencia de una columna, y se destaca por su fácil colocación.	Desplazamientos Resistencia Cantidad de material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivas</li> <li>• Desplazamientos en X</li> <li>• Desplazamientos en Y</li> <li>• Ratios demanda/capacidad</li> <li>• Peso</li> <li>• Cantidad</li> </ul>	Nominal
Perfiles metálicos	es la manera tradicional de refuerzo la cual se efectúa a través del uso de es a través del uso de angulares y perfiles metálicos y posee una gran rapidez de ejecución y que la puesta en carga es inmediata (Revollo & Delgadillo, 2017).	Es un método usado por mucho tiempo por los ingenieros para reforzar estructuras que están expuestas a un cambio de uso, el cual se basa en la aplicación de perfiles metalitos alrededor de la columna.	Desplazamientos Resistencia Cantidad de material	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derivas</li> <li>• Desplazamientos en X</li> <li>• Desplazamientos en Y</li> <li>• Ratios demanda/capacidad</li> <li>• Peso</li> <li>• Cantidad</li> </ul>	Nominal

## Anexo 2. Programa Sika CarboDur.

Sika CarboDur - v6.4 - [C:\...\_nuevo.acisk]

Proyecto Sección transversal Acero de refuerzo Cargas Acerca de

ACI 440 - ACI 318 SI unidades métricas  
Perú BUILDING TRUST Sika

Armadura simétrica definida por diámetros

Distancia al centroide del refuerzo X  mm  
Distancia al centroide del refuerzo Y  mm

	Num. barras	Diámetro (mm)	Acero	fy (MPa)
Esquina	4	<input type="text" value="19.00"/>	Grade 60	413.69
Cara X	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="16.00"/>	Grade 60	413.69
Cara Y	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="19.00"/>	Grade 60	413.69

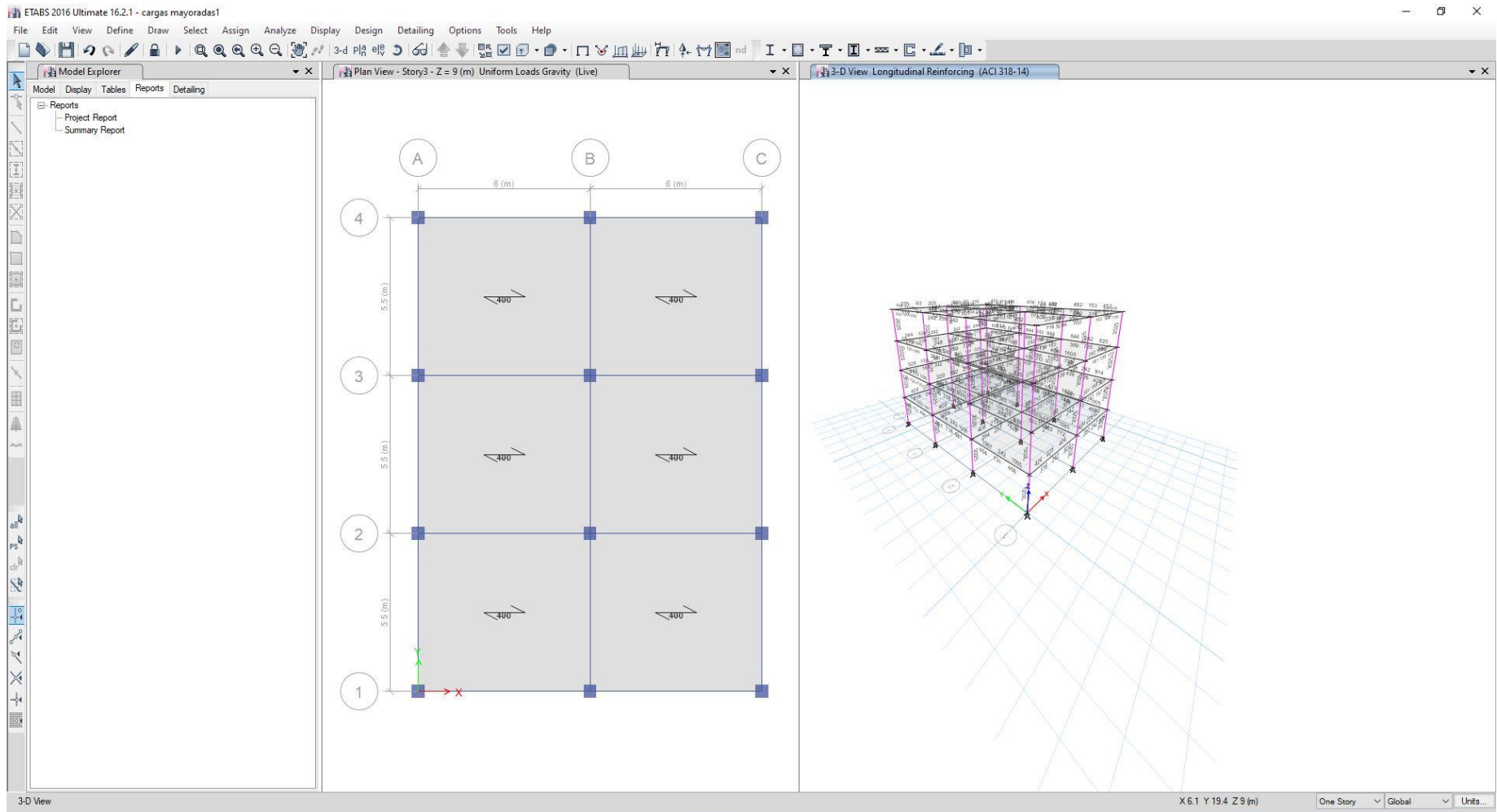
Refuerzo de acero transversal

Sección transversal

450

13

# Anexo 3. Programa Etabs 2016.



# Anexo 4. Programa Etabs 2016.

ETABS 2016 Ultimate 16.2.1 - cargass mayoradas

File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Detailing Options Tools Help

Model Explorer | 3-D View | Report Viewer | 3-D View Longitudinal Reinforcing (ACI 318-14)

Model Display Tables Reports Detailing

Reports

- Project Report
  - Cover Page
  - 1 Structure Data
    - 1.1 Story Data
      - Table 1.1 Story Data
    - 1.2 Grid Data
      - Table 1.2 Grid Systems
      - Table 1.3 Grid Lines
    - 1.3 Point Coordinates
      - Table 1.4 Joint Coordinates Data
    - 1.4 Line Connectivity
      - Table 1.5 Column Connectivity Data
      - Table 1.6 Beam Connectivity Data
    - 1.5 Area Connectivity
      - Table 1.7 Floor Connectivity Data
    - 1.6 Mass
      - Table 1.8 Mass Source
      - Table 1.9 Centers of Mass and Rigidity
      - Table 1.10 Mass Summary by Diaphragm
      - Table 1.11 Mass Summary by Story
    - 1.7 Groups
      - Table 1.12 Group Definitions
  - 2 Properties
    - 2.1 Materials
      - Table 2.1 Material Properties - Summary
    - 2.2 Frame Sections
      - Table 2.2 Frame Sections - Summary
    - 2.3 Shell Sections
      - Table 2.3 Shell Sections - Summary
    - 2.4 Reinforcement Sizes
      - Table 2.4 Reinforcing Bar Sizes
    - 2.5 Tendon Sections
      - Table 2.5 Tendon Section Properties
  - 3 Assignments
    - 3.1 Frame Assignments
      - Table 3.1 Frame Assignments - Summary
    - 3.2 Shell Assignments
      - Table 3.2 Shell Assignments - Summary
  - 4 Loads
    - 4.1 Load Patterns
      - Table 4.1 Load Patterns
    - 4.2 Auto Seismic Loading
      - User Coefficient Auto Seismic Load Calculation
      - User Coefficient Auto Seismic Load Calculation
    - 4.3 Applied Loads
      - 4.3.1 Area Loads
        - Table 4.4 Shell Loads - Uniform
    - 4.4 Load Cases
      - Table 4.5 Load Cases - Summary
    - 4.5 Load Combinations
      - Table 4.6 Load Combinations
  - 5 Analysis Results
    - 5.1 Structure Results
      - Table 5.1 Base Reactions

Structure Data 1/08/2019

**1 Structure Data**

This chapter provides model geometry information, including items such as story levels, point coordinates, and element connectivity.

**1.1 Story Data**

Table 1.1 - Story Data

Name	Height mm	Elevation mm	Master Story	Similar To	Splice story
Story4	3000	12000	Yes	None	No
Story3	3000	9000	No	Story4	No
Story2	3000	6000	No	Story4	No
Story1	3000	3000	No	Story4	No
Base	0	0	No	None	No

**1.2 Grid Data**

Table 1.2 - Grid Systems

Name	Type	Story Range	X Origin m	Y Origin m	Rotation deg	Bubble Size mm	Color
G1	Cartesian	Default	0	0	0	1250	Redacet

Table 1.3 - Grid Lines

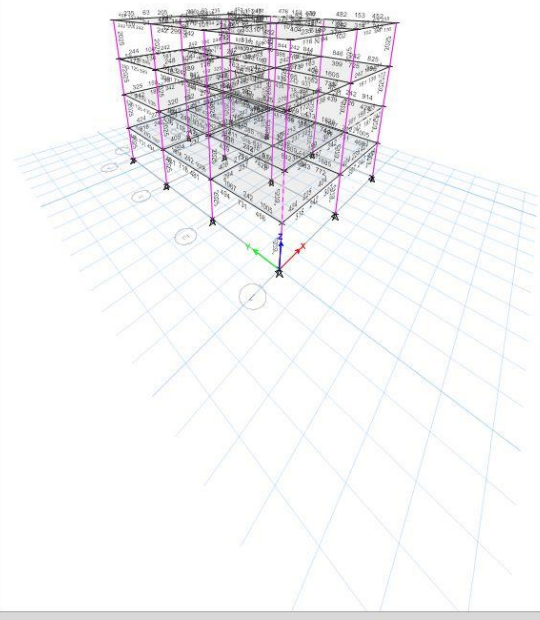
Grid System	Grid Direction	Grid ID	Visible	Bubble Location	Ordinate m
G1	X	A	Yes	End	0
G1	X	B	Yes	End	6.5
G1	X	C	Yes	End	12
G1	Y	1	Yes	Start	0
G1	Y	2	Yes	Start	6.5
G1	Y	3	Yes	Start	13
G1	Y	4	Yes	Start	19.5

**1.3 Point Coordinates**

Table 1.4 - Joint Coordinates Data

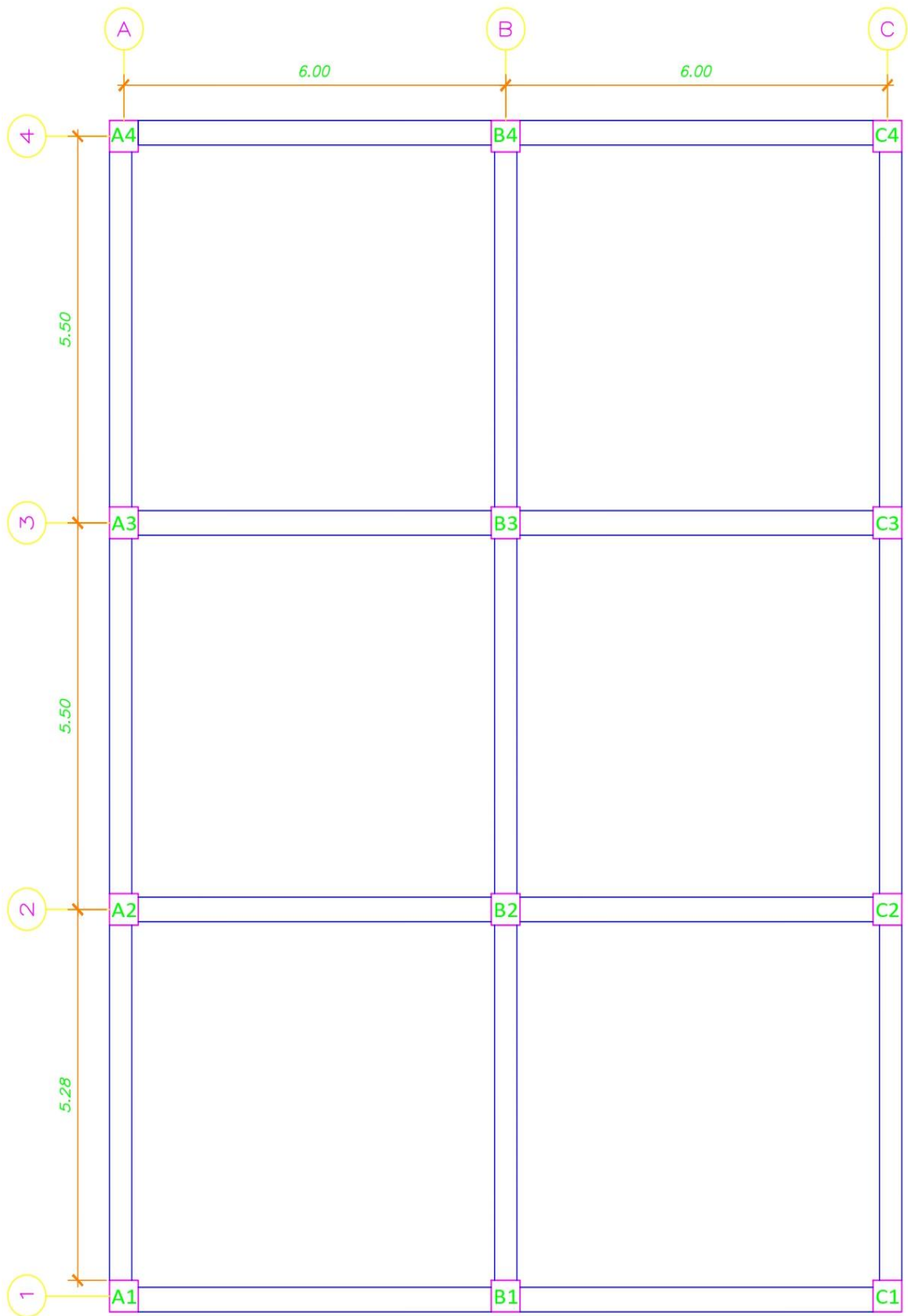
Label	X mm	Y mm	Z Below mm
1	0	8500	0
2	0	0	0
3	6000	0	0
4	6000	8500	0
5	12000	0	0
6	12000	8500	0
7	0	11000	0
8	0	18500	0
9	6000	11000	0
10	6000	18500	0

Page 4 of 40





## Anexo 5. Plano en planta en AutoCAD 2021






**Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo (Nosotros) MARTINEZ SANCHEZ, DEIGAR HEBERT, egresado de la Escuela Profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulada: "ESTUDIO ENTRE EL REFUERZO DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO DE FIBRAS REFORZADAS CON POLÍMEROS Y DE PERFILES METÁLICOS, LIMA 2021", es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que la Tesis:

- 33. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
- 34. He (Hemos) mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
- 35. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- 36. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo (asumimos) la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Huaraz, 29 de Mayo del 2021

<b>Apellidos y Nombres del Autor</b> MARTINEZ SANCHEZ, DEIGAR HEBERT	
<b>DNI:</b> 46380657	<b>Firma</b> 
<b>ORCID:</b> 0000-0002-3996-1840	