



Universidad
Mariana

Evaluación del nylon postensado como alternativa no convencional
en vigas de concreto estructural

Luis Sebastián Acosta Regalado
Steeven Alexander Betancourth Diaz
Britany Esneidan Chamorro Galarza
Gustavo Adolfo Muñoz Coronel

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2023

Evaluación del nylon postensado como alternativa no convencional
en vigas de concreto estructural.

Luis Sebastián Acosta Regalado
Steeven Alexander Betancourth Diaz
Britany Esneidan Chamorro Galarza
Gustavo Adolfo Muñoz Coronel

Informe de investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Mg. Bianca Marcela Miranda Portilla
Asesor

Mg. Diego Valencia Enríquez
Coasesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
San Juan de Pasto
2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Contenido

Introducción	12
1. Resumen del proyecto	14
1.1. Descripción del problema.....	15
1.1.1. Formulación del problema	16
1.2. Justificación.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos.....	18
1.4.1. Antecedentes	18
1.4.2. Marco conceptual.....	19
1.4.2.1. Nylon.....	19
1.4.2.1.1. Tenacidad	19
1.4.2.1.2. Resistencia a tensión	19
1.4.2.1.3. Elongación en la rotura	19
1.4.2.1.4. Módulo de elasticidad y curva esfuerzo – elongación	19
1.4.2.1.5. Trabajo para la rotura.	20
1.4.2.1.6. Límite elástico	21
1.4.2.1.7. Flexión.....	21
1.4.2.2. Presforzado.....	21
1.4.2.2.1. Métodos de esfuerzo.....	21
1.4.2.3. Acero	22
1.4.2.3.1. Hierro y Carbono.....	22
1.4.2.3.2. Pruebas de tensión.....	23
1.4.2.4. Concreto	23
1.4.2.4.1. Cemento	23
1.4.2.4.2. Pasta	23
1.4.2.4.3. Agregados.....	24
1.4.2.4.4. Agregado grueso	24
1.4.2.4.5. Agregado fino.....	24

1.4.2.5. Deformación.....	24
1.4.2.6. Dureza	24
1.4.2.7. Esfuerzo.....	24
1.4.2.8. Fraguado.....	24
1.4.2.9. Vaciado.....	25
1.4.2.10. Vida útil.....	25
1.4.3. Marco teórico.....	25
1.4.3.1. Dosificación de mezcla de concreto.....	25
1.4.3.2. Resistencia máxima del concreto	32
1.4.4. Marco contextual	33
1.4.4.1. Extensión y límites.	34
1.4.4.2. Pasto.	34
1.4.4.3. Localización	35
1.4.5. Marco legal	36
1.5. Metodología	37
1.5.1. Actividades a desarrollar	37
1.5.2. Enfoque de investigación.....	38
1.5.3. Tipo de investigación.....	39
2. Presentación de resultados	40
2.2. Procesamiento de la información.....	40
2.2.1. Primer objetivo: Determinar la resistencia a tracción del nylon trenzado en torones.	40
2.2.2. Segundo objetivo: Evaluar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado convencional y refuerzo con torones de nylon.....	46
2.2.3. Tercer objetivo: Comparar los resultados de resistencia a flexión de vigas de concreto reforzado con varillas de refuerzo convencional y vigas reforzadas con torones de nylon.	55
2.3. Análisis e interpretación de resultados.....	56
2.3.1. Análisis del primer objetivo.....	56
2.3.2. Análisis del segundo objetivo	57
2.3.3. Análisis del tercer objetivo	57
2.4. Discusión.....	57
3. Conclusiones	59

4. Recomendaciones.....	61
Referencias bibliográficas	62
Anexos.....	67

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de mezclas del concreto	23
Tabla 2. Valores recomendados para el contenido de aire en el concreto para varios grados de exposición.....	26
Tabla 3. Objetivos y actividades	37
Tabla 4. Resultados del ensayo a tracción del torón de nylon	43
Tabla 5. Cantidades de diseño de mezcla.....	46

Índice de figuras

Figura 1. Gráfica teórica Esfuerzo-Deformación Nylon.....	20
Figura 2. Viga postensada.....	22
Figura 3. Ubicación Universidad Mariana.....	33
Figura 4. Ubicación del departamento de Nariño.....	34
Figura 5. Mapa geográfico de la ciudad de Pasto.....	35
Figura 6. Mapa geográfico y característicos del Volcán Galeras.....	36
Figura 7. Torón de capa simple.....	41
Figura 8. Molde de configuración del nylon.....	41
Figura 9. Realización del torón de nylon.....	42
Figura 10. Torones de nylon formados.....	42
Figura 11. Torón de nylon en máquina universal.....	43
Figura 12. Curva Carga-Recorrido Nylon.....	45
Figura 13. Curva Carga-Recorrido Hierro.....	45
Figura 14. Ubicación de orificios en el espécimen.....	47
Figura 15. Ensayo de fluidez y asentamiento de la mezcla.....	47
Figura 16. Posicionamiento de las varillas de refuerzo convencional.....	48
Figura 17. Vaciado de la mezcla en formaletas.....	48
Figura 18. Fraguado de mezcla en formaletas.....	49
Figura 19. Proceso de curado de los especímenes de concreto.....	49
Figura 20. estructura para tensar nylon postensado.....	50
Figura 21. Ubicación de los torones en el espécimen.....	51
Figura 22. Ubicación real de los refuerzos estructurales.....	51
Figura 23. tensionamiento de torones.....	52
Figura 24. Inducción de lechada.....	52
Figura 25. Ensayo a flexión de viga con refuerzo con nylon en la maquina universal.....	53
Figura 26. Ensayo a flexión de viga con refuerzo convencional en la maquina universal.....	54
Figura 27. Ensayo a compresión de la mezcla de diseño a los 14 días de curado.....	54
Figura 28. Fuerza deformación viga nylon y hierro.....	55
Figura 29. Resumen de resultados llevados a cabo en los especímenes en la maquina universal.....	55

Figura 30. Curva Carga-Recorrido Nylon.....71
Figura 31. Curva Carga-Recorrido Hierro.71

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Cantidad agua.....	27
Ecuación 2. Relación agua cemento.....	27
Ecuación 3. Contenido de agua.....	28
Ecuación 4. Masa agregado grueso.....	28
Ecuación 5. Volumen agregado grueso.....	28
Ecuación 6. Volumen agregado fino.....	29
Ecuación 7. Masa agregado fino.....	29
Ecuación 8. Masa ajuste agua.....	30
Ecuación 9. Dosificación cemento.....	30
Ecuación 10. Dosificación agregado grueso.....	31
Ecuación 11. Dosificación agregado fino.....	31
Ecuación 12. Dosificación agua.....	31
Ecuación 13. Resistencia máxima del concreto por laboratorio.....	32
Ecuación 14. Error porcentual.....	32
Ecuación 15. Módulo de elasticidad a tracción.....	44

Índice de Anexos

Anexo A. Diseño de mezcla.....	68
Anexo B. Ensayo a tracción del nylon	71
Anexo C. Ensayos a cilindros y vigas de concreto.....	73

Introducción

El principio de presfuerzo, permite incrementar la capacidad de carga a flexión del concreto “antes de la aplicación de cargas externas y superpuestas” (Meza, s.f., p. 7); esto “con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia” (p. 8), algunas ventajas importantes del concreto presforzado, es la utilización “en estructuras impermeables o expuestas a agentes agresivos” (p. 7), y de esta manera obtener una resistencia mayor a lo convencional. Sin embargo, la posibilidad de “la escasa o nula fisuración en elementos que tengan aplicados el principio de presforzado es efectiva”, ya que estos elementos cuando están sometidos a cualquier tipo de esfuerzo (compresión, flexión, torsión etc.) trabajan íntegramente bajo las condiciones de carga, lo cual consigue reducir considerablemente las dimensiones de los elementos, y por tanto el aligeramiento de la estructura, lo que a su vez redundará en una reducción de la masa dinámica, presupuesto y de los niveles en los esfuerzos de diseño (Human y Quispe, 2017).

No obstante, “el concreto presforzado tiene algunas desventajas respecto al concreto armado, aunque es importante referir que en general no minoran su importancia y extendido uso en la construcción” (Meza, s.f., p. 8). Entre las desventajas se puede encontrar que para su fabricación se requieren equipos e instalaciones especiales, se necesitan materiales (cables de acero y concreto) de alta calidad que influyen a elevados costos, personal calificado en el proceso de construcción y montaje; no obstante, al igual que el concreto armado, el concreto presforzado hace necesaria la consideración de procesos de control de calidad, tanto en el proceso de producción como en el de la puesta en obra.

De esta manera, se hace la introducción al uso del nylon tensado como un refuerzo dentro de las mezclas de concreto, utilizando el principio de presfuerzo, buscando mejorar aspectos ambientales, estructurales y económicos, esto con el fin de aumentar la resistencia y disminuir las dimensiones de los elementos, lo cual repercute en la cantidad de materiales y que estos sean más económicos, de tal manera que estos sean capaces de transmitir los esfuerzos presentes en las estructuras (Gutiérrez, 2016). El proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento a flexión de elementos de concreto reforzado con torones de nylon tensado, implementando de esta

manera el principio del presfuerzo; esta técnica de reforzamiento estructural, tienen como finalidad aumentar la capacidad carga de la estructura (Barker et al., 1977)

Para concluir, este proyecto busca crear una alternativa de refuerzo con la utilización de nylon (Poliamida) tensado en elementos estructurales, y de esta manera, realizar ensayos experimentales que demuestren si el uso del nylon mejora o no la resistencia de los elementos, recalcando en la disminución de las dimensiones de estos. Este tipo de reforzamiento estructural actualmente no tiene ningún tipo de estudio o precedente en bibliografías buscadas en idiomas como español, inglés o francés, pero sí de los materiales que se utilizarán en la construcción de los especímenes, la cual busca dar alternativa al nylon en estructuras de concreto presforzadas para esta propuesta el material en efecto es el nylon, porque se caracteriza por ser un material homogéneo con una condensación de polímeros y que es poco usado, sin tener en cuenta su alta durabilidad, ductilidad, dureza, resistencia a fatiga, tenacidad y fuerte capacidad de amortiguación mecánica.

1. Resumen del proyecto

En el desarrollo de la investigación, se tiene en cuenta de manera principal el objetivo general que es evaluar el comportamiento a flexión en vigas de concreto reforzado con torones fabricados con nylon utilizando el principio de presfuerzo. Para lograr este objetivo, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

Determinar la resistencia a tracción del nylon trenzado en torones.

Evaluar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado convencional y reforzado con nylon.

Comparar resultados de la resistencia a flexión de vigas entre concreto reforzado con varillas de refuerzo convencional y concreto reforzado con torones de nylon.

La metodología empleada para alcanzar estos objetivos se basa en la aplicación de normativas específicas que permiten alcanzar cada uno de los objetivos planteados. El proceso metodológico consiste en seguir pasos que permitan abordar cada objetivo de manera sistemática y ordenada. A través de la aplicación de esta metodología, se busca validar la siguiente hipótesis:

La incorporación de torones de nylon como refuerzo en vigas de concreto reforzado utilizando el principio de presfuerzo permitirá obtener un comportamiento a flexión comparable o incluso superior al obtenido con el refuerzo convencional de varillas de acero y se espera que el uso de torones de nylon pueda presentar ventajas en términos de resistencia a la tracción y potencialmente reducir los costos de construcción.

La investigación se apoya en la recopilación de datos a través de pruebas de laboratorio y el análisis de resultados obtenidos. Al final de este proceso, se busca ofrecer conclusiones y recomendaciones respaldadas por evidencia empírica que contribuyan al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería estructural y al uso de materiales alternativos en la construcción de estructuras de concreto reforzado.

Sin embargo, los resultados de la investigación indican que la hipótesis planteada inicialmente es falsa. Aunque, la configuración propuesta de los torones de nylon no logró demostrar una resistencia superior a las barras de acero en términos de refuerzo en vigas de concreto reforzado, se encontraron ventajas en cuanto a los costos de materiales. A pesar de la menor resistencia a flexión en las vigas reforzadas los torones de nylon, en comparación con el refuerzo convencional, los costos asociados a la implementación de materiales de este tipo de refuerzo son más económicos, es decir, el nylon a comparación con las barras de acero es más económico, sin embargo, hay que tener en cuenta las recomendaciones de cambiar el diámetro del torón y su configuración para así llegar a una resistencia mínima de diseño, mientras que el precio de la mezcla sigue siendo el mismo.

Los resultados obtenidos respaldan la importancia de considerar una evaluación integral al elegir el tipo de refuerzo a utilizar en proyectos de construcción. Aunque los torones de nylon no superaron las propiedades mecánicas de las barras de acero en términos de resistencia y comportamiento a flexión, el hecho de que la opción de nylon resulte más económica en términos de costos de construcción puede llevar a considerarla en ciertos contextos.

En resumen, la investigación demostró que, si bien los torones de nylon no superan las propiedades mecánicas de las barras de acero en cuanto a resistencia y comportamiento a flexión en vigas de concreto reforzado, la construcción de estructuras temporales, como andamios o plataformas de trabajo provisional que sean fáciles de desarmar y destruir, aplicación en decoración y/o estética sea posible. Estos resultados contribuyen al entendimiento de las posibilidades y limitaciones de los materiales de refuerzo en la ingeniería estructural y proporcionan información valiosa para la toma de decisiones en proyectos de construcción.

1.1. Descripción del problema

La ingeniería estructural busca desarrollar sistemas de construcción distintos a los ya convencionales, debido a que en las diferentes regiones del planeta se presentan problemas de construcción, como son las fallas geológicas, tipo de suelo, ética del profesional, calidad de materiales, presupuesto, entre otras. Por lo tanto, se busca que por medio de la ingeniería civil se

logre desarrollar soluciones con mecanismos que puedan ser usados para que las estructuras sean más eficaces y soporten cualquier tipo de amenaza sísmica y estructural de bajo costo.

Por otra parte, a través de la historia se han presentado innumerables:

cambios en materia de la construcción de edificios, viviendas, empresas, parques industriales o cualquier tipo de infraestructura, los cuales han sido testigos de varias transformaciones en los últimos años, ubicando a Colombia como uno de los países líderes en desarrollo, técnica e innovación por sus avances en el sector. (Grupo Empresarial Oikos S.A.S, 2020, párr. 4)

Sin embargo, se encuentran diferentes tipos de procesos en la construcción de obras civiles, los cuales representan la evolución y las capacidades de la ingeniería, como por ejemplo los sistemas aporticados, abovedados, tensados, hinchables y mixtos (Porrero et al., 2014), estos procesos de construcción tienen como base el principio de concreto reforzado o el principio del presfuerzo; debido a esto, es importante rescatar que los tipos de reforzamientos en las clases de construcción antes mencionados, tienen como finalidad, aumentar la capacidad de carga y servicio de la estructura, ya que el comportamiento de estos procesos tienen ciertos niveles de tolerancia respecto a cargas que se le aplican. En el reforzamiento estructural se obtiene las propiedades mecánicas de los materiales de un elemento (concreto, acero, cables, etc.) a través de ensayos de laboratorios, también la ductilidad, la cual ayuda en el amortiguamiento de los elementos.

1.1.1. Formulación del problema

¿La implementación de torones de nylon tensado con configuración simple como refuerzo no convencional en vigas de concreto estructural mejora la resistencia a flexión de dichos elementos utilizando un diámetro en específico para el torón?

1.2. Justificación

Se propone la implementación del nylon tensado como refuerzo en concreto, por ser un material homogéneo y que cuenta con buenas características mecánicas para ser una alternativa del acero

ya convencional, por ejemplo, su alta durabilidad a la fatiga, su resistencia mecánica, dureza, tenacidad y fuerte capacidad de amortiguación mecánica, además del bajo peso y precio unitario. El nylon se destaca por sus propiedades físico-mecánicas, que son compatibles en las mezclas de concreto, buscando así una posible mejora en sus parámetros (Carrillo et al., 2013). Por otra parte, es necesario analizar un método de aligerar las construcciones y de esta manera disminuir los costos económicos debido a las dimensiones de los elementos y los riesgos producidos por los sismos a los que se ven expuestas las personas e inmuebles debido a su peso; la diferencia de implementar nylon tensado es por su valor de fabricación en comparación con el acero y la diferencia en su peso, ya que normalmente la fabricación del acero no pasa de los 12 metros de largo, a diferencia que el nylon tiene la capacidad de tener más longitud a menor precio y peso, de esta manera se podría optar por una estructura tanto resistente como económica para los usuarios y ocupar menor espacio en la zona de construcción (Feliu et al., 1989). Para añadir, cabe resaltar el nylon podría ser fabricado a partir de materiales reutilizados y así contar con sostenibilidad en las construcciones, sin cambiar las propiedades naturales que este tiene, por lo que se refiere que, durante las últimas décadas, la producción del plástico ha presentado un crecimiento promedio anual del 7 % (Sarria y Gallo, 2016). Así pues, este porcentaje hace notar que el nylon puede llegar ser un material ecológico y reutilizable, dando lugar a esta investigación, tratando de encontrar una alternativa sostenible y económica, haciendo reutilización de materiales desechados con el fin de reducir la contaminación a largo plazo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento a flexión en vigas de concreto reforzado con torones fabricados con nylon utilizando el principio de presfuerzo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Encontrar la resistencia a tracción del nylon trenzado en torones.

- Evaluar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado convencional y refuerzo con torones de nylon.
- Comparar resultados de la resistencia a flexión de vigas entre concreto reforzado con varillas de refuerzo convencional y concreto reforzado con torones de nylon

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Antecedentes

Con el paso del tiempo, se busca disminuir las grietas que se presentan en una construcción debido a las cargas o sobrecargas a tensión que se le imponen a un elemento. Debido a esto, la investigación creó un método para disminuir estas fallas, a este método se le conoce como el principio de presfuerzo, el cual, a simples rasgos, consiste en crear una fuerza de compresión inicial sobre un elemento de concreto, conocido como concreto presforzado (Cabañas, 2008).

El método fue patentado por primera vez en 1888, por Monier C.F.W. Doehring, un alemán que aseguro la patente con ideas de tensar el metal antes de vaciar una losa de concreto, para obtener una resistencia mayor a la ya conocida. En 1908, C.R. Steiner, dio a conocer que el metal tensado con el pasar del tiempo, perdía la fuerza de tracción en el elemento y que este debía ser reajustado para no perder la contracción del concreto.

Para 1925 R.E. Dill, de Nebraska, ensayó barras de acero de alta resistencia con el propósito de obtener adherencia con el concreto y que después de vaciar el concreto, y esperar su fraguado, se tensaban estas barras que estaban ancladas de un extremo por medio de pernos. Tres años después, registró la patente y estableció la teoría principal del concreto postensado, publico un libro titulado “Una revolución en el arte de construir”.

En 1951 se construyó en Estados Unidos el primer puente con la teoría de presfuerzo, el puente fue llamado “The Walnut Lane Bridge” el cual tiene en su estructura vigas pretensadas que aún siguen en pie. Tras pasar la construcción del puente, se crea en 1952 la F.I.P. (Federación Internacional del Pretensado), en 1954 fue publicado el libro oficial del concreto pretensado por la

F.I.P. titulado “últimas noticias sobre el hormigón pretensado” (A.A., 1954), y con esto la construcción de más puentes con el mismo principio, como son Tuxpan en 1962 en México, Coatzacoalcos en 1962 en México, y así mismo los puentes que son populares y se siguen construyendo hoy en día.

1.4.2. Marco conceptual

1.4.2.1. Nylon. Para este proyecto es necesario dar a conocer conceptos referentes al nylon y sus características físicas como mecánicas con el fin de definir el procedimiento adecuado al prototipo de la investigación, deseando encontrar una resistencia del mismo, sus utilidades y cada antecedente que este contrae. Además, se tiene en cuenta sus propiedades que este posee, como la alta tenacidad, rigidez, buena resistencia a la abrasión, resistencia al calor, resistencia a la tracción y una buena elasticidad; propiedades que son compatibles con las mezclas de concreto, buscando así una mejora en parámetros de interacción concreto-nylon (Gutiérrez, 2016). Algunas de las propiedades mecánicas que tiene el nylon son:

1.4.2.1.1. Tenacidad. Es la resistencia a la tensión en la rotura. Se expresa como fuerza por unidad de densidad lineal (Roell, 2016)

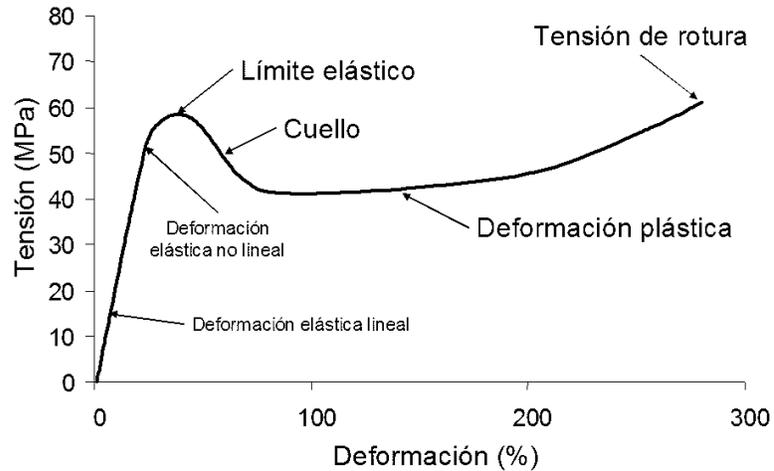
1.4.2.1.2. Resistencia a tensión. Es el máximo esfuerzo por unidad de área expresado en KPa o MPa (González, 2014).

1.4.2.1.3. Elongación en la rotura. Es el incremento en longitud durante una prueba de tensión. Se expresa como porcentaje de la longitud original. (Monzón, 2012)

1.4.2.1.4. Módulo de elasticidad y curva esfuerzo – elongación. Es la carga requerida para estirar una muestra de una unidad de área de sección transversal por unidad de cantidad. Se expresa como el cociente incremental de la carga en la porción recta inicial de la curva tensión - elongación extrapolada al 100 % de elongación de la muestra.

Figura 1

Gráfica teórica Esfuerzo-Deformación Nylon.



Fuente: Curso de fundamentos ciencias de materiales (2013).

Bajo condiciones normales, las curvas de esfuerzo - elongación de una hilada o fibra de nylon bien orientado muestran una porción inicial recta en la cual el esfuerzo y la elongación son proporcionales.

La curva luego muestra la deformación de la estructura de la fibra y se indica por la curva en forma de S, primero cóncava al eje de esfuerzo, luego una forma cóncava al eje de elongación hasta el punto de rotura el nylon muestra inicialmente una recuperación rápida que ocurre en unos pocos minutos luego del cese de la carga. Comparado con otras fibras, el hilado de nylon tiene un notable grado de elasticidad y recuperación frente a altas cargas y extensiones. (Textos Científicos. com, 2005, parr. 7)

1.4.2.1.5. “Trabajo para la rotura. Es el trabajo requerido para la rotura del material. Es proporcional al área total bajo la curva de tensión – elongación” (Textos Científicos. com, 2005, párr. 10).

1.4.2.1.6. “Límite elástico. Es el punto sobre la curva de tensión - elongación donde la carga y la elongación dejan de ser directamente proporcionales” (Textos Científicos. com, 2005, párr. 10)

1.4.2.1.7. Flexión. Es una deformación que presenta un elemento estructural alargado, es decir cuando tiene una dimensión más grande que la otra, dicha deformación se presenta cuando una fuerza se aplica perpendicularmente al eje del elemento (Rocha, 2011).

1.4.2.2. Presforzado. El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y uso. Los principios y técnicas del presforzado se han aplicado a estructuras de muchos tipos y materiales, la aplicación más común ha tenido lugar en el diseño del concreto estructural, además de los aspectos funcionales y económicos especiales del concreto como material de construcción, ciertas propiedades mecánicas y físicas son importantes con respecto a la aplicación y el comportamiento del concreto. (Navarro, 2023, p.1)

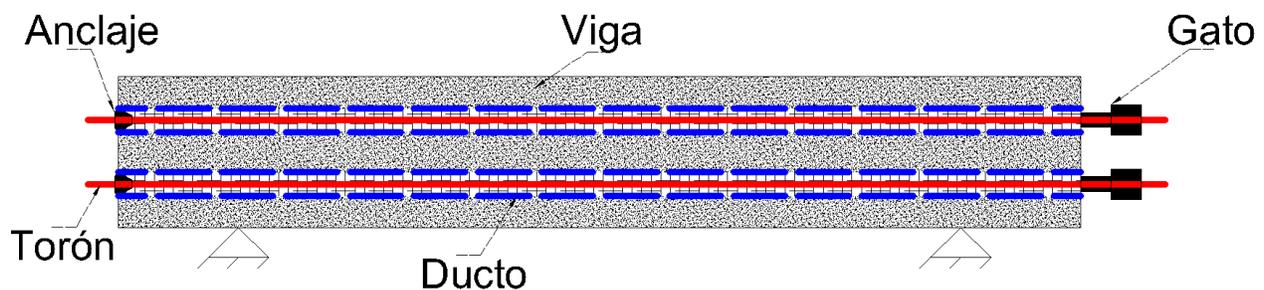
1.4.2.2.1. Métodos de esfuerzo. En el concreto presforzado existen dos categorías: pretensado y postensado. Los miembros del concreto pretensado presforzado se producen restirando o tensando los tendones entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza presforzante aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto. En el caso de los miembros de concreto postensado, se esfuerzan los tendones después de que ha endurecido el concreto y de que se haya alcanzado suficiente resistencia, aplicando la acción de los gatos contra el miembro de concreto mismo. (Navarro, 2023, p. 2)

Método Postensado. Cuando se hace el presforzado por postensado, generalmente se colocan en los moldes de las vigas, ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados y que siguen el perfil deseado antes de vaciar el concreto. Los tendones pueden ser alambres paralelos atados en haces, cables torcidos en torones, o varillas de acero. El ducto se amarra con alambres al refuerzo auxiliar de la viga (estribos sin reforzar) para prevenir su desplazamiento accidental,

y luego se vacía el concreto. Cuando éste ha adquirido suficiente resistencia, se usa la viga de concreto para proporcionarle un apoyo para el gato de tracción, la tensión se evalúa midiendo tanto la presión del gato como la elongación del acero. Los tendones se tensan normalmente todos a la vez o bien utilizando el gato monotorón. Normalmente se rellenan de mortero los ductos de los tendones después de que éstos han sido esforzados, se introduce el mortero al interior del ducto en uno de los extremos, a alta presión, y se continua el bombeo hasta que la pasta aparece en el otro extremo del tubo. Cuando se endurece, la pasta une al tendón con la pared interior del ducto. (Navarro, 2023, p. 3)

Figura 2

Viga postensada.



1.4.2.3. Acero. El acero es una aleación de hierro y carbono, existen otros elementos que se encuentran en el acero como el silicio (Si), el fósforo (P), el azufre (S), el manganeso (Mn) y el cromo (Cr) (Ford, 1966).

1.4.2.3.1. Hierro y Carbono. El hierro es un metal dúctil y maleable, de una coloración blanca azulada, que se funde a los 1500 °C, el hierro que comúnmente se encuentra en la industria no es químicamente puro, contiene ciertos porcentajes de elementos como carbono, silicio, azufre y fósforo (los cuales son perjudiciales). El carbono por otra parte, hace parte de los metaloides sólidos, es infusible e incoloro cuando tiene un alto grado de pureza, y de una tonalidad gris o negra cuando contiene impurezas. El carbono es uno de los elementos más abundantes en el planeta encontrándose como cuerpo simple en: diamantes, grafito, cartón, y formando cuerpos

orgánicos (animales y vegetales) y cuerpos inorgánicos (carbonatos, carburos etc.) (Wirtz, 1960 citado por Aleans, 2017, pp. 15-16)

1.4.2.3.2. Pruebas de tensión. Las pruebas de tensión dan como resultado cuatro principales resultados de medición; resistencia final (tiene poca variación con respecto a los aceros que comparten el mismo grado de dureza), Fuerza de cedencia, alargamiento y reducción de área (estas tres últimas están directamente relacionada con la ductilidad) (Palmer, 1986).

1.4.2.4. Concreto. Es un material que resulta de la mezcla de cemento y otros componentes (agregados gruesos y agregados finos.) que se mezcla con agua; de esta combinación se puede crear distintas clases de mezclas dependiendo la composición de los anteriores materiales y resultarían en mortero, pasta y concreto. (León y Ramírez, 2010)

Tabla 1

Tipos de mezclas del concreto

Mezcla	Composición			
Concreto	Cemento	Agua	Arena	Grava
Mortero	Cemento	Agua	Arena	
Pasta	Cemento	Agua		

1.4.2.4.1. Cemento. Es un material conglomerante que está formado por una mezcla de caliza, yeso y arcilla que, tiene la propiedad de endurecer luego de colocarse en contacto con el agua, a esto se le conoce como elemento hidráulico (Cortes y perilla, 2014).

1.4.2.4.2. Pasta. La pasta de cemento endurecida es una estructura rígida formada por productos sólidos, originados durante la reacción del cemento hidráulico y el agua (Paris, 2022)

1.4.2.4.3. Agregados. Los agregados que componen los diferentes tipos de mezclas se dividen en dos grandes grupos como lo son agregados finos y agregados gruesos, los cuales con ensayos de laboratorio se determina a que grupo pertenece.

1.4.2.4.4. Agregado grueso. Son aquellas partículas se retienen hasta la malla número 4, se hace a través del ensayo de granulometría, NTC-174 (Zega, 2008).

1.4.2.4.5. Agregado fino. Son aquellas partículas que pasan la malla número 4, esto se ejecuta a través del ensayo de granulometría con la misma norma de agregados gruesos, NTC-174 (Moncaleano y Jaramillo, 2016).

1.4.2.5. Deformación. Es un cambio relativo entre la dimensión antes y después de hacer una o varias fuerzas sobre este (Carrillo, 2013).

1.4.2.6. Dureza. “Resistencia a la deformación, es medida por lo general al calibrar la resistencia a la deformación mediante algunas de las diversas pruebas de dureza, también se define como la resistencia que ofrece el material a ser penetrado por un cuerpo duro” (Black, 1964 citado por Aleans, 2017, p. 21), con ayuda de equipos especiales como el durómetro que es una maquina normalizada de ensayo que mide la dureza de los materiales, los más comunes son los de Rockwell, Brinell, Vickers y Micro Vickers).

1.4.2.7. Esfuerzo. Es la fuerza interna de un material/elemento que ejecuta sobre cierta área con el fin de soportar fuerzas externas (Villagrán, 2013).

1.4.2.8. Fraguado. Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón, producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento. (Quispe García, 2016, p. 1)

1.4.2.9. Vaciado. Es un proceso que consiste en verter el concreto premezclado en la formaleta, luego dejarlo que continúe al proceso de fraguado (Figuerola, 2008).

1.4.2.10. Vida útil. Es el tiempo proyectado en el cual un equipo, elemento o herramienta opera con todas las funciones para las que fue diseñado hasta que haya llegado a ser obsoleto, o haya sufrido un deterioro total por envejecimiento o uso (Aleans Corena, 2017, p.21)

1.4.3. Marco teórico

1.4.3.1. Dosificación de mezcla de concreto. El método por utilizar en la investigación es el método de la dosificación ACI (*American Concrete Institute*), es un método utilizado para determinar la proporción adecuada de materiales que componen el concreto para lograr las propiedades mecánicas y durabilidad deseadas. El marco teórico de dosificación ACI tiene en cuenta principios fundamentales de la ingeniería de concreto y la ciencia de materiales. El método se basa en ciertos parámetros y en doce pasos que se mencionan a continuación donde se calcula la cantidad de material para la resistencia requerida.

Paso 1 datos generales: se propone la resistencia deseada del concreto y se conoce la densidad que posee el cemento, esta es suministrada por la casa de fabricación del aglomerante, de igual forma, se conocen las características del agregado grueso y fino que van a ser implementados en la mezcla. Para el caso del agregado grueso se tienen los siguientes ensayos: Masa unitaria compacta, densidad, absorción, y humedad, para el agregado fino: Módulo de finura, densidad, absorción y humedad, los cuales son importantes para realizar los cálculos correspondientes.

Paso 2 asentamiento: se establece la consistencia deseada, de esta manera se da a conocer la relación agua-cemento para la mezcla.

Paso 3 tamaño de agregado: hay tamaño máximo nominal y tamaño máximo con las cuales se sabe el tamaño de las muestras que se van a usar para la mezcla.

Paso 4 el contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla: La **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, teniendo como base las referencias que se especifican en la norma ACI 318 S-08.

Tabla 2

Valores recomendados para el contenido de aire en el concreto para varios grados de exposición.

Agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	mm		Suave	Mediano	Severo
3/8	0,61	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Fuente: Propiedades Y Diseño de Mezclas, Tomo 1, Tercera edición.

Paso 5 contenido de agua: para encontrar la cantidad de agua se despeja el agua de la formula agua/cemento quedando así:

Ecuación 1

Cantidad agua.

$$a = 0,20 + \left(\frac{f'cr}{100} \right)^{\frac{1}{3}} * c$$

a: agua

c: cemento

f'cr: resistencia máxima

Paso 6 resistencia del concreto: se le suma un factor de seguridad a la f'c deseada quedando así una resistencia de seguridad f'cr por lo general se le suma un 8,3.

Paso 7 relación agua cemento: Según el ACI 318, la relación agua/cemento se puede determinar a partir de la resistencia requerida (f'cr) en psi o MPa utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 2

Relación agua cemento

$$\frac{a}{c} = 0,20 + \left(\frac{f'cr}{100} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

a: agua

c: cemento

f'cr: resistencia máxima

Paso 8 el contenido de cemento: (C) se puede calcular utilizando la fórmula:

Ecuación 3

Contenido de agua

$$C = \frac{P * W}{S * 62,4}$$

Donde:

P: Peso requerido de concreto en lb o kg.

W: Relación agua-cemento deseada.

S: Peso específico del cemento (aproximadamente 62.4 lb/ft³ o 1000 kg/m³).

Paso 9 granulometría: a través de ensayos se verifica si la muestra de suelos cumple o no con la granulometría requerida.

Paso 10 cantidad de agregados: ya con todos los ensayos realizados y todos los cálculos anteriormente mencionados se continua a la dosificación de agregados.

Para los agregados gruesos se calcula la masa y el volumen

Ecuación 4

Masa agregado grueso

$$\text{Masa: } b * MUC$$

Donde

b: 0,53

MUC: masa unitaria compacta

Ecuación 5

Volumen agregado grueso.

$$\text{Volumen: } \frac{\text{Masa}}{\text{densidad}}$$

Donde:

Masa: masa agregado grueso

Densidad: densidad agregado grueso

Así mismo, para el agregado fino se calculan la masa y el volumen de la siguiente manera:

Ecuación 6

Volumen agregado fino.

$$\text{Volumen: } 1000 - Va - Ca * 100 - Vc * 1000 - Vg * 1000$$

Donde:

Va: volumen de agua

Co: contenido de aire

Vc: volumen cemento

Vg: volumen grueso

Ecuación 7

Masa agregado fino.

$$\text{Masa: } \frac{\text{volumen}}{1000 * \text{densidad}}$$

Donde

Volumen: volumen agregado fino

Densidad: densidad agregado fino

Paso 11: ajuste de agua, se realiza con la siguiente formula

Ecuación 8

Masa ajuste agua

$$Masa: Ca + \left(\frac{Af * Mf}{100} * \frac{Ag * Mg}{100} \right) - \left(\frac{Mf * Hf}{100} + \frac{Mg * Hg}{100} \right)$$

Donde:

Mf: Masa agregados finos

Mg: Masa agregados gruesos

Hg. Humedad agregados gruesos

Hf: Humedad agregados finos

Af: Absorción finos

Ag: Absorción gruesos

Paso 12 volumen de trabajo: se obtienen los volúmenes para verter el concreto con la dosificación adecuada. Para una viga se determina su volumen, para n vigas se multiplica este volumen por el numero n de vigas

Con lo anterior se procede a obtener la dosificación de agua, cemento y agregados que tendrá la mezcla de concreto:

Ecuación 9

Dosificación cemento

$$Cemento: Mc * VtT$$

Donde:

Mc: masa del cemento

VtT: volumen total de trabajo

Ecuación 10

Dosificación agregado grueso

$$\text{Agregado grueso: } Mg * VtT$$

Donde:

Mg: masa agregado grueso

VtT: volumen total de trabajo

Ecuación 11

Dosificación agregado fino

$$\text{Agregado fino: } MF * VtT$$

Donde:

Mg: masa agregado fino

VtT: volumen total de trabajo

Ecuación 12

Dosificación agua

$$\text{Agua: } Va * VtT$$

Donde:

Va: volumen ajuste agua

VtT: volumen total de trabajo

De esta manera, se obtiene la dosificación del concreto a través del modelo ACI.

1.4.3.2. Resistencia máxima del concreto. Para calcular y verificar la resistencia máxima del concreto alcanzado en la muestra de laboratorio, se debe aplicar la norma técnica colombiana NTC-673 del 2021, la cual consiste en aplicar una carga axial sobre el espécimen de concreto a una velocidad específica, cuando el cilindro llega a la falla, se dice que el espécimen alcanzó su resistencia máxima. La resistencia máxima se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen. Teniendo en cuenta lo anterior se define entonces:

Ecuación 13

Resistencia máxima del concreto por laboratorio

$$F'c_l = \frac{P}{Ac}$$

Donde:

$F'c_l$ = Resistencia máxima del concreto por ensayo.

P = carga máxima de lectura durante el ensayo:

Ac = Área Transversal del espécimen ejecutado.

Tomando en consideración la dosificación del concreto, se conoce la resistencia de diseño a la compresión que se espera en los especímenes. A partir de aquí, se calcula el porcentaje de diferencia, el cual tiene como objetivo demostrar la efectividad de la mezcla en comparación con el ensayo de compresión.

Ecuación 14

Error porcentual

$$\varepsilon\% = \frac{F'c_d - F'c_l}{F'c_d} \times 100$$

Donde:

$\varepsilon\%$ = Error porcentual.

F'_{cd} y F'_{cl} son la resistencia de diseño a la compresión y la resistencia máxima de laboratorio respectivamente.

1.4.4. Marco contextual

El desarrollo de la investigación se llevará a cabo en la dirección Cl. 7 Oe. #35858, específicamente en los laboratorios de la Universidad Mariana sede Alvernia en San Juan de Pasto, departamento de Nariño. En este lugar, se llevarán a cabo la toma de medidas, las pruebas de funcionamiento y la comprobación de la eficiencia del proyecto.

Figura 3

Ubicación Universidad Mariana



Fuente: Testimonio de Nariño (2022)

El departamento de Nariño está ubicado al sur occidente de Colombia, limita por el norte con el Departamento del Cauca, por el este con el Departamento del Putumayo, por el sur con la República del Ecuador y por el oeste con el Océano Pacífico. (Gobernación de Nariño, 2023, p. 2)

Figura 4

Ubicación del departamento de Nariño



Fuente: En Toda Colombia (2019).

1.4.4.1. Extensión y límites. La superficie es de 33268 kilómetros cuadrados y limita al norte con el Departamento del Cauca (franja del territorio en litigio) por el este, con el Departamento del Putumayo (franja de territorio en litigio), por el sur con la República del Ecuador y el oeste con el Océano Pacífico. (Gobernación de Nariño, 2023, p. 2).

1.4.4.2. Pasto. El Municipio de Pasto cuenta con una población de 455678 habitantes en el año 2018 según la proyección del censo realizado por el DANE en el año 2005. Pasto es la capital del Departamento de Nariño, se encuentra ubicado al sur de Colombia, tiene una extensión de 1181 km² de los cuales el área urbana es de 26,4 km². El 83,7% de su población habita en las 12 comunas evidenciando que Pasto es un Municipio eminentemente urbano y el 16,3% habita 17 corregimientos: Busquillo, Cabrera, Catambuco, El Encano, El Socorro, Genoy, Gualmatán, Jamondino, Jongovito, La Caldera, La Laguna, Mapachico, Mocondino, Morasurco, Obonuco, San Fernando y Santa Bárbara. Es la segunda ciudad más grande de la región pacífica después de Cali. (ASIS municipal Pasto, 2018, p. 25).

1.4.4.3. Localización. El municipio está situado en el Sur occidente de Colombia, en medio de la Cordillera de los Andes en el macizo montañoso denominado Nudo de los Pastos y la ciudad está situada en el denominado Valle de Atríz, al pie del volcán Galeras. Limita por al norte con los municipios de Florida, Chachagüí y Buesaco; el sur con los Municipios de Tangua, Funes, Putumayo; al oriente con el Departamento del Putumayo y al occidente con los municipios de Florida, Tangua y Consacá. (ASIS municipal Pasto, 2018)

Figura 5

Mapa geográfico de la ciudad de Pasto

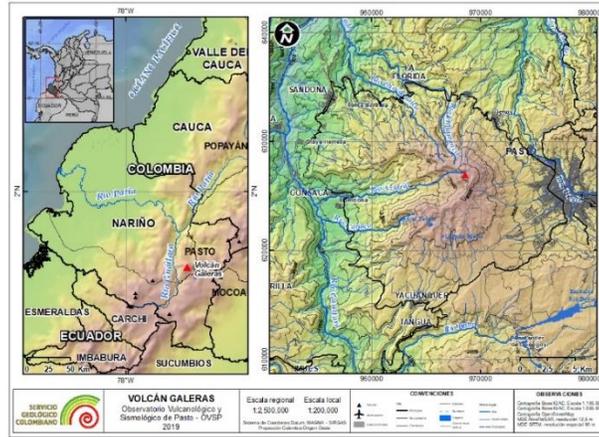


Fuente: Gestión del riesgo Pasto (2022).

Pasto está ubicado al pie del volcán Galeras, esto le da un punto a la sismicidad y la zona de alto riesgo que presentan las personas, ya que el volcán galeras se encuentra a 9 Km al occidente de la ciudad de Pasto con una altura de 4276 m.s.n.m (Servicio Geológico Colombiano, 2020).

Figura 6

Mapa geográfico y característicos del Volcán Galeras



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2020)

1.4.5. Marco legal

La investigación se fundamenta en las normas colombianas, ya que se está llevando a cabo en este país. Estas normas proporcionan una base para el desarrollo de la investigación y para el conocimiento previo necesario en la realización de los ensayos de laboratorio. Además, establecen los lineamientos que se deben considerar al llevar a cabo dichos ensayos. Las normas que se tienen en cuenta en esta investigación son las siguientes:

- NTC 174 Ensayo de Granulometría. Esta norma establece los requerimientos de gradación y calidad en agregados finos y gruesos (arena y limos).
- ASTM C78 Ensayo para determinar la resistencia del concreto a la flexión (utilizando una viga simple con carga en los tercios medios), esta norma establece el procedimiento para la ejecución de ensayo en una viga simple, la cual es cargada paralela a su eje con el fin de deformar la viga y obtener parámetros de resistencia a esta carga.

- NTC 673 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Esta norma establece lo necesario para llevar a la falla los cilindros de concreto de una mezcla, con esta norma se obtiene y conoce la resistencia a compresión de la mezcla ya endurecida y curada.
- NTC 2 Ensayo a tracción para materiales metálicos. Método de ensayo a temperatura ambiente, esta norma establece el procedimiento para evaluar probetas de acero a través de una carga axial negativa, la cual deforma la probeta hasta su falla, la que es conocida como la resistencia de la probeta.

1.5. Metodología

1.5.1. Actividades a desarrollar

A continuación, se presenta un esquema de las actividades a seguir para obtener los resultados finales y culminar los objetivos propuestos.

Tabla 3

Objetivos y actividades

Objetivos	Actividades
Analizar el comportamiento a tracción del nylon trenzado en torones.	Realizar configuración de hilos de nylon apoyándose con probetas de aluminio.
	Realizar orificios dependiendo de la configuración determinada en la probeta.
	Introducir hilos de nylon en los agujeros de la probeta de aluminio.
	Formar cables de nylon, con la configuración requerida.
	Llevar a cabo ensayo a tracción, adaptado de la NTC 2.

	Diseño de mezcla, para obtener la resistencia requerida de 28 MPa.
	Fundir viga con agujeros para los torones y viga convencional para la comparación.
	Fraguado del concreto por 24 horas.
	Desencofrado de especímenes y retiro de conductos.
	Instrucción de torones de nylon en ductos.
Evaluar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado convencional y refuerzo con torones de nylon.	Posicionamiento del seguro en un extremo del espécimen.
	Tensión de torones de nylon a 100 psi.
	Agregado de lechada.
	Posicionamiento del seguro en el otro lado del espécimen para evitar pérdida de tensión.
	Curado del concreto por 28 días.
	Someter a ensayo de flexión basándose en los puntos tercios como mejor posición para una carga distribuida de la viga de acuerdo con la norma ASTM C78.
	Obtención de resultados.
Comparar resultados entre concreto reforzado varillas de refuerzo convencional y concreto reforzado con torones de nylon.	Comparación de resultados.
	APUS del método convencional y con postensado.
	Búsqueda los límites donde pueda ser aplicado el método.

1.5.2. Enfoque de investigación

La investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que implica la recopilación de datos numéricos y su posterior análisis. Además, se emplean métodos estadísticos para evaluar los resultados obtenidos.

1.5.3. Tipo de investigación

La investigación se basa en una investigación comparativa, este tipo de análisis es un método de investigación, recolección y análisis de información que consiste en la comparación de dos o más procesos, documentos, conjuntos de datos u otros objetos.

2. Presentación de resultados

Durante el proceso de investigación y el cumplimiento de las actividades propuestas para cada objetivo, se obtuvieron los siguientes resultados:

2.1. Procesamiento de la información

Con el fin de proporcionar una estructura más coherente a la información recopilada en relación con cada objetivo cumplido, se ha optado por organizarla de manera individualizada según cada objetivo. En esta disposición, se detallará el procedimiento empleado y se presentarán las pruebas y evidencias que respaldan los logros obtenidos hasta el momento.

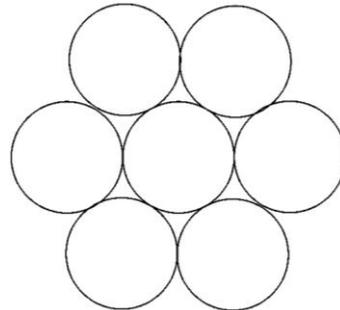
2.1.1. Primer objetivo: Determinar la resistencia a tracción del nylon trenzado en torones.

El objetivo de este apartado es obtener la resistencia a la tracción del nylon trenzado en torones. Para abordarlo, se llevaron a cabo diversas actividades. En primera instancia, se procedió a diseñar la configuración del torón. Se optó por emplear el torón de capa simple, caracterizado por estar compuesto únicamente por un solo diámetro de hilo. Esta elección se basa en su propiedad de conferir rigidez a la estructura, lo cual es altamente deseado para el propósito buscado.

Según Wilbert Dionisio, menciona en su publicación "Manual de mantenimiento de cable de acero de grúa viajera" (2018), esta configuración proporciona mayor resistencia a la abrasión, característica que resulta especialmente relevante en nuestro contexto, ya que asegura una mejor unión con el concreto (ver figura 7).

Figura 7

Torón de capa simple



Fuente: Manual de mantenimiento de cable de acero de grúa viajera (2018).

Seguido a esto, se optó por la realización de un molde aluminio para facilitar el montaje de la configuración requerida y así evitar que los hilos de nylon no queden en su lugar (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 8

Molde de configuración del nylon.



Para continuar, se prepararon las muestras de torones de nylon de capa simple con hilos de 3,3 mm para la ejecución del ensayo (ver figura 9), Se optó también por utilizar termo encogible, el cual es un elemento que reacciona con el calor y es muy débil en resistencia, cuando éste tiene

presencia de calor mayor 70 °C, tiende a disminuir su diámetro, ajustando así la configuración evitando que se desarme (ver figura 10), ya que, el nylon al ser un compuesto de polímeros, tiende a regresar a su forma original.

Figura 9

Realización del torón de nylon.

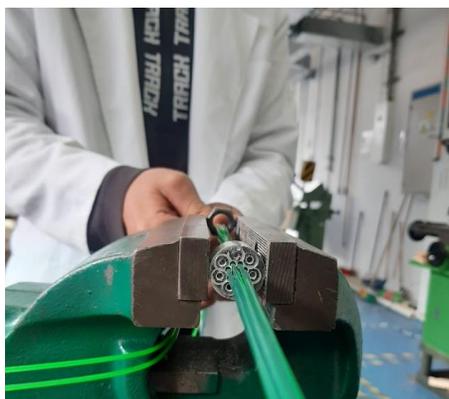


Figura 10

Torones de nylon formados

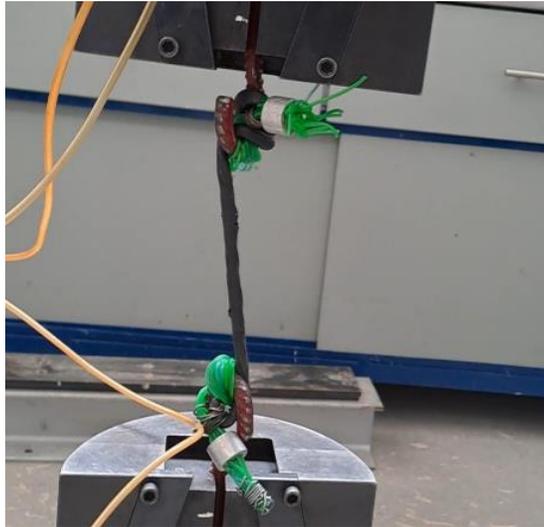


Con la obtención de los productos esperados (torones de nylon de capa simple de diámetro 125 mm formado con hilos de 3,3 mm) se procede a la obtención de resultados de tracción del mismo,

para esto se utilizó la norma NTC-2, pero esta se adaptó y fue utilizada en este caso para torones de nylon (ver figura 11).

Figura 11

Torón de nylon en máquina universal



Para concluir, se recopilaron datos proporcionados por la máquina en el ensayo a tracción del torón. Estos datos fueron medidos previo al inicio del ensayo, durante su desarrollo y al final del mismo. Al finalizar el ensayo, se logró construir la gráfica de carga-recorrido (ver figura 7) y los siguientes resultados.

Tabla 4

Resultados del ensayo a tracción del torón de nylon

Resultados ensayo a tracción del torón de nylon			
Parámetro	Carga (N)	Distancia (mm)	Diámetro (mm)
Inicio	0	300	125
Fin	772	335	125

Con los datos obtenidos al inicio y fin del ensayo a tracción, se procede a calcular el Módulo de elasticidad del nylon, con la siguiente ecuación.

Ecuación 15

Módulo de elasticidad a tracción

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{L_f - L_o}{L_o}}$$

Donde:

E= Modulo de elasticidad (Pascales).

σ = Esfuerzo (Pascales).

ε = Deformación unitaria.

F= Fuerza de tensión (N).

A= Área transversal del espécimen (mm²).

\emptyset = Diámetro del espécimen (mm).

L_o= Longitud inicial del espécimen (mm).

L_f= Longitud final del espécimen (mm).

Para reemplazar los valores se conoce los siguientes términos:

F= 1320 N.

\emptyset = 12,5 mm.

L_o= 300 mm.

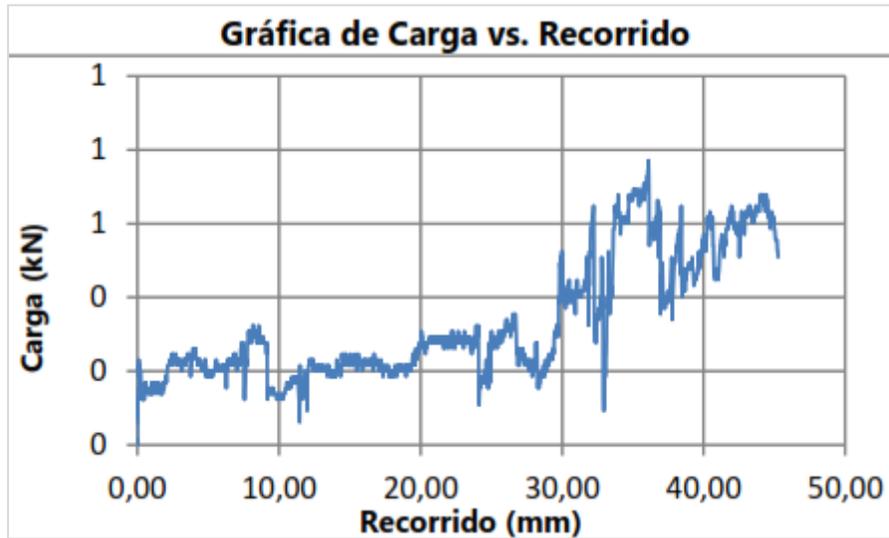
ΔL = 350-300 = 35 mm.

Entonces:

$$E = \frac{\frac{772}{\pi \times \frac{0.0125^2}{4}}}{\frac{0.335 - 0.3}{0.3}} = 53921330 \text{ Pa} \cong 53,92 \text{ MPa}$$

Figura 12

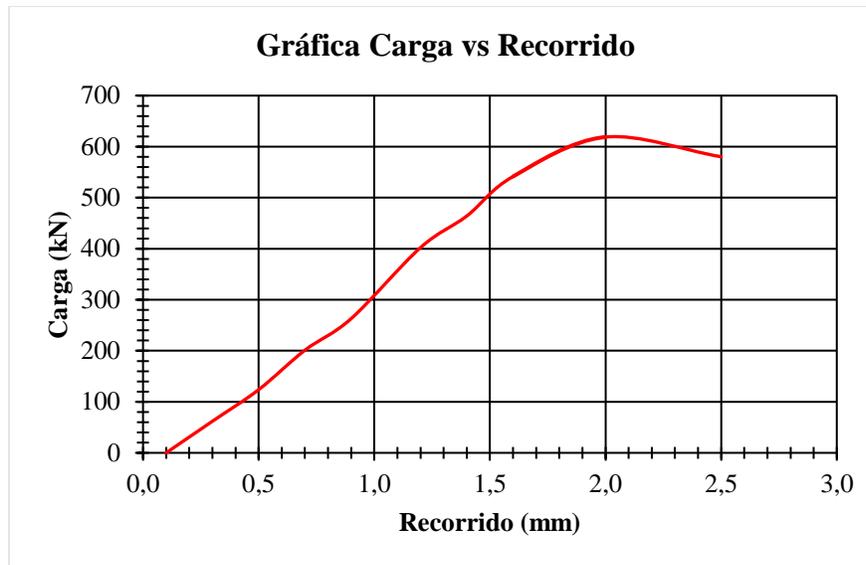
Curva Carga-Recorrido Nylon



La siguiente gráfica corresponde a un ensayo a tracción de una varilla de refuerzo de 0,5 pulgadas usada en semestres anteriores (ver).

Figura 13

Curva Carga-Recorrido Hierro



2.1.2. Segundo objetivo: Evaluar el comportamiento a flexión de vigas de concreto reforzado convencional y refuerzo con torones de nylon.

Basándonos en los ensayos llevados a cabo en el laboratorio de la Universidad Mariana, se ha desarrollado la siguiente composición de mezcla. Cabe destacar que este diseño se formuló siguiendo el procedimiento de la norma ACI para la elaboración de concreto de 28 MPa.

Tabla 5

Cantidades de diseño de mezcla

Cemento uso general	
Cantidad	Unidades/m ³
1376.84	Kg
Gruoso	
Cantidad	Unidades/m ³
404.890	Kg
Fino	
Cantidad	Unidades/m ³
1431.94	Kg
Agua	
Cantidad	Unidades/m ³
526.59	L

Para el siguiente paso, en este caso la universidad no cuenta con un molde donde se puedan introducir varillas y que estas salgan de la probeta, así mismo para los torones de nylon, no cuentan con los espacios para el método de postensado. Se realiza tapas con material de SuperBoard, calculando la distancia de revestimiento de 4 cm por la norma NSR-10 y evitar corrosiones y daños al refuerzo, y así, realizar 4 agujeros donde irán las varillas de las vigas convencionales; para las vigas con torones de nylon se emplearon tubos de PVC de 0,5 pulgadas para crear los espacios requeridos. Estos tubos permitieron verter la mezcla de diseño dejando así los espacios con el diámetro necesario donde posteriormente se va a introducir los torones de nylon una vez completado el proceso de fraguado.

Figura 14

Ubicación de orificios en el espécimen



Se lleva a cabo la preparación de la mezcla de concreto utilizando los datos obtenidos según el método ACI. Posteriormente, se realiza un ensayo conocido como cono de Abrams, el cual arroja un valor de asentamiento de 9 cm. Este resultado indica que la fluidez del diseño es apropiada.

Figura 15

Ensayo de fluidez y asentamiento de la mezcla



Después de llevar a cabo el ensayo para determinar la fluidez de la mezcla, se procede a insertar las varillas en los orificios previamente realizados en las tapas. Luego, se lubrican los moldes y se vierte la mezcla de concreto tanto en las formaletas de las vigas postensadas y las convencionales

Figura 16

Posicionamiento de las varillas de refuerzo convencional



Figura 17

Vaciado de la mezcla en formaletas



A demás se añade un ensayo a compresión a cilindros de concreto con la misma mezcla, y que serán fallados a compresión con la resistencia alcanzada a los 14 días, ya que, por falta de tiempo, solo se quiere conocer si la resistencia es la adecuada. Según el asesoramiento que se obtuvo en esas fechas el porcentaje de la resistencia máxima según su tiempo de curado es del 75%.

Figura 18

Fraguado de mezcla en formaletas



Una vez terminado este proceso, se deja reposar por 24 horas, para luego desmoldar las vigas y proceder a humedecer en tanque ubicado en laboratorio durante 28 días para que estas obtengan la resistencia diseñada anteriormente, una vez alcanzada la resistencia máxima del concreto se las retira del agua y se procede a fallarlos.

Figura 19

Proceso de curado de los especímenes de concreto



Sin embargo, para el caso de las vigas postensadas la universidad no disponía del gato hidráulico requerido para tensionar los torones después del fraguado, se construyó una estructura específica para este trabajo. Esta estructura permitió la tensión de los torones de nylon y se adaptó para funcionar con la asistencia de un gato hidráulico destinado a ensayos de placa.

Figura 20

Estructura para tensar nylon postensado



La utilización de esta estructura es la siguiente: en primer lugar, se introducen los torones en la viga con la configuración (ver figura 21) para llevar a cabo el proceso de postensado, y se aseguran

utilizando seguros y chavetas provenientes de las válvulas del motor de un camión. Estos seguros se ponen en la parte inferior de la viga.

Figura 21

Ubicación de los torones en el espécimen

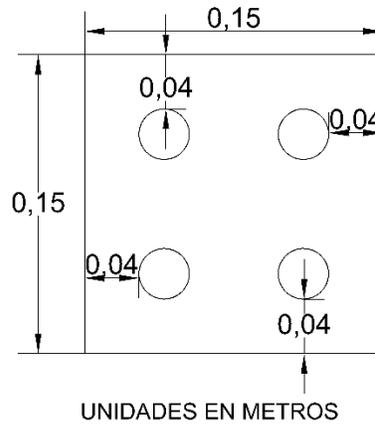


Figura 22

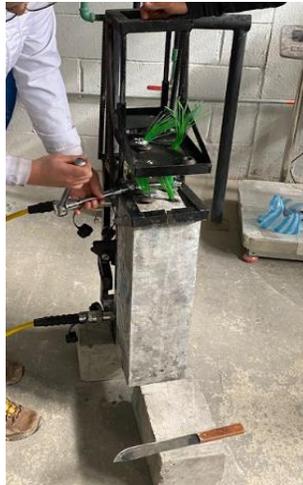
Ubicación real de los refuerzos estructurales



La viga se coloca en la estructura con el propósito de tensionar los torones uno a uno en una configuración cruzada. Esta metodología es crucial para evitar que la viga esté sometida a un mayor esfuerzo en un solo eje. El esfuerzo de tensión aplicado en cada torón fue de 619 KPa (100 psi), que corresponde a la falla del primer hilo del torón.

Figura 23

Tensionamiento de torones



Después de haber tensionado los torones de nylon se procede a realizar la inducción de lechada a presión para que haya una adhesión nylon-concreto correcta, esta lechada tiene una dosificación Agua-Cemento del 0.38 según la dosificación del diseño de mezcla para obtener una resistencia de 28 MPa, y según López (2010) dice que la resistencia debe estar entre 20 y 35 MPa a los 28 días de curado, lo cual se dice que la mezcla cumplirá con la dosificación.

Figura 24

Inducción de lechada



Luego de tensionar el torón, se lo asegura en el extremo faltante y se lo lleva al proceso de curado por 28 días.

Finalmente, los especímenes (refuerzo convencional y refuerzo con nylon además de los cilindros de concreto) al finalizar el curado, se los lleva a la máquina universal para llevar a cabo el ensayo de flexión en los puntos tercios de su luz, tal como se establece en la norma ASTM C78. Esta norma define los procedimientos y parámetros para evaluar la capacidad de una muestra de concreto para resistir cargas de flexión. Además, los cilindros se fallan a compresión para conocer la resistencia de la mezcla que se obtuvo a los 14 días de curado.

Figura 25

Ensayo a flexión de viga con refuerzo con nylon en la máquina universal



Figura 26

Ensayo a flexión de viga con refuerzo convencional en la maquina universal

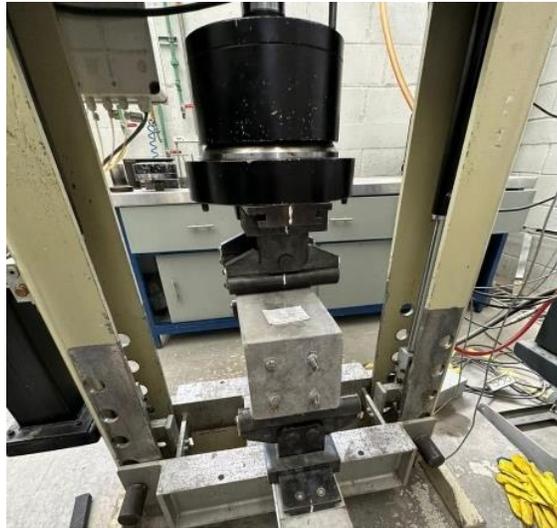


Figura 27

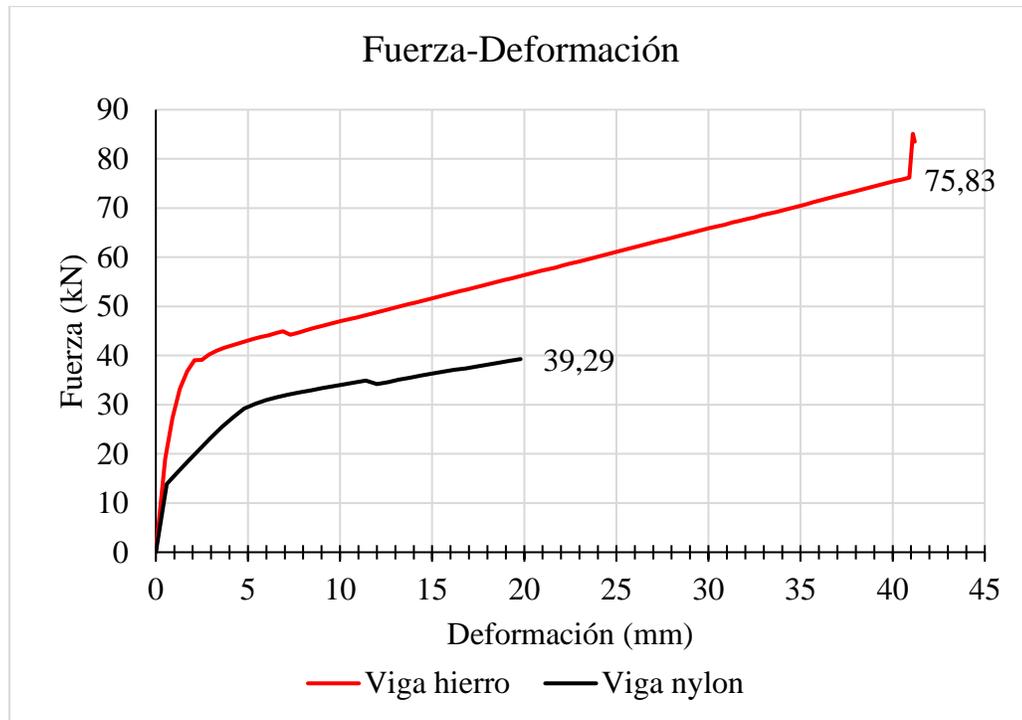
Ensayo a compresión de la mezcla de diseño a los 14 días de curado



De esta manera se obtuvo la siguiente gráfica de flexión en las vigas.

Figura 28

Fuerza deformación viga nylon y hierro



2.1.3. Tercer objetivo: Comparar los resultados de resistencia a flexión de vigas de concreto reforzado con varillas de refuerzo convencional y vigas reforzadas con torones de nylon.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados de los ensayos realizados de los especímenes:

Figura 29

Resumen de resultados llevados a cabo en los especímenes en la maquina universal

Especímen	Valor	Unidad	Descripción
Cilindro 1	23.01	MPa	Resistencia máxima alcanzada en el ensayo a compresión a 14 días.
Cilindro 2	23.34	MPa	Resistencia máxima alcanzada en el ensayo a compresión a 14 días.
Promedio Cilindros	23.18	MPa	Resistencia promedio del ensayo a compresión.

Viga nylon	5.70	MPa	Módulo de ruptura de la viga de nylon.
Viga Hierro	1.51	MPa	Módulo de ruptura de la viga de hierro.
Cilindro 1	188.027	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Cilindro 2	194.121	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Promedio Cilindros	191.074	kN	Fuerza promedio alcanzada en el ensayo a compresión.
Viga nylon	39.288	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a flexión.
Viga Hierro	85.10	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a flexión.

2.2. Análisis e interpretación de resultados

2.2.1. Análisis del primer objetivo

El ensayo a tracción es una herramienta fundamental para evaluar la resistencia y las propiedades mecánicas de los materiales, para este caso se lo realizó en un torón de nylon fabricado manualmente, esta probeta tiene una configuración de capa simple (ver figura 7) compuesta por 7 hilos de 3,3 mm de diámetro y el torón con un diámetro final de 125 mm, similar a una varilla de refuerzo de 0,5 pulgadas; esta probeta fue fallada a tracción con el fin de obtener la figura 12 y poder determinar la resistencia máxima a tracción del espécimen, así mismo, caracterizar el material calculando el módulo de Young o también conocido como módulo de elasticidad, este valor fue de 53,92 MPa.

En cuanto a la resistencia obtenida al finalizar el ensayo, el valor máximo registrado fue de 772 N, lo cual es inferior al valor de 618 kN de la varilla convencional. Esto indica que el torón de nylon es menos resistente en comparación con la varilla convencional, pero con mayor capacidad a la elongación, ya que en cuestión de recorrido el nylon obtuvo una deformación mayor que la varilla convencional, obteniendo 45 mm y 2,5 mm respectivamente.

Para finalizar, la figura 12 del ensayo realizado al torón de nylon es de gran importancia, ya que, este gráfico ilustra cómo varía la carga en función de la deformación del material la cual resulta una herramienta valiosa para comprender el comportamiento del material a lo largo del ensayo y su respuesta ante las cargas aplicadas.

2.2.2. Análisis del segundo objetivo

En este objetivo se observa según los resultados y la figura 28; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que, la viga con refuerzo de hierro obtuvo mayor resistencia a flexión que la viga de nylon con menor resistencia, ya que la viga de nylon obtuvo un módulo de rotura de 5.7 MPa y la viga reforzada con hierro un módulo de rotura de 1.51 MPa, esto quiere decir que la viga reforzada con nylon obtuvo un mayor esfuerzo en la fibra inferior, sin embargo, el módulo de rotura se presentó fuera del tercio, caso contrario que en la viga reforzada con nylon el fallo se produjo en el tercio de la viga.

Para añadir, la resistencia alcanzada en la viga con nylon fue de 39.29 kN y la viga reforzada con acero fue de 75.83 kN, de aquí se puede rescatar que la viga reforzada con nylon si se adhirió a la matriz del concreto ya que, la resistencia fue un 3.5 % (1.37 kN) mayor a la mitad de la resistencia de la viga de concreto reforzada con acero.

2.2.3. Análisis del tercer objetivo

En la comparación de resultados se puede observar que la resistencia de la viga de nylon fue menor a la resistencia de la viga de hierro, ya que la resistencia del nylon en comparación el con las varillas de acero tienen una diferencia llegando casi al 50% entre ambos, en caso del ensayo a flexión se pude decir que la resistencia del nylon que otorga al espécimen de concreto es casi nula, a comparación del espécimen de concreto reforzado con hierro y que no es recomendable utilizar este método como refuerzo en vigas de concreto que son sometidas a grandes cargas, ya que para una construcción lo que prima es la salud de inmuebles y personas que hacen uso de la misma.

2.3. Discusión

Para el primer objetivo, se observó que la resistencia del nylon durante el ensayo a tracción debido ya sea a la configuración, cantidad de hilos o diámetro de los mismos no se alcanzó con la resistencia deseada, sin embargo, el objetivo de realizar el ensayo a tracción del nylon fue

completado al 100%, del cual se obtuvo las características del material, así como la gráfica del torón.

En cuanto al segundo objetivo, se llevó a cabo el ensayo de flexión en los especímenes reforzados con torones de nylon que fueron tensionados hasta alcanzar una resistencia menor a la resistencia en la que falló el primer hilo del nylon teniendo en cuenta el rango elástico del nylon. Esta elección se basó en consideración de que el rompimiento de los hilos se considera una falla. Es importante destacar que, en el caso del espécimen reforzado de manera convencional, su refuerzo no se sometió a tensión durante el ensayo.

Para el tercer objetivo, guiándonos de las gráficas, efectivamente, el refuerzo con nylon no es garantizado para una estructura que requiere las mismas condiciones de resistencia que un refuerzo convencional lo otorga. Teniendo en cuenta lo anterior, si para una construcción de baja resistencia se tratase y no se cuenta con mucho presupuesto para su construcción, no sería una opción viable, pero si sostenible con el medio ambiente.

3. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos y su análisis, se puede observar que el nylon no puede igualar o superar las propiedades mecánicas. Si bien los torones de nylon no lograron superar las propiedades mecánicas de las barras de acero en términos de resistencia y comportamiento ante la flexión. Para lograr una mayor resistencia en las estructuras, se podrían explorar enfoques, como el aumento del diámetro de los hilos de nylon o la modificación de la configuración de los torones. De esta manera, se abrirían posibilidades para mejorar las propiedades mecánicas de los torones de nylon.

Este estudio permitió encontrar una característica de un nuevo material en las vigas de concreto, contribuyendo así al avance de alternativas de refuerzo, ya que, a través de este estudio, se logró obtener un módulo de elasticidad para el nylon el cual fue de **53,92 MPa**, con un valor máximo a tracción de **772 N** y un recorrido de **35 mm**, lo que proporciona información valiosa para futuras investigaciones en este campo.

A pesar de los desafíos que se enfrentó durante la investigación, logramos completar nuestro objetivo general, pese a no encontrar antecedentes en los artículos en Inglés y Español buscados sobre el tema en específico, sobre torones de nylon utilizados como refuerzo estructural en vigas de concreto, si se encontraron de los materiales utilizados para la investigación, aunque no aportaron gran conocimiento, porque lo que se necesitaba era demostrar y desarrollar un nuevo método de refuerzo para vigas de concreto.

Además, se logró superar las limitaciones de maquinaria, puesto la universidad no cuenta con máquinas especiales para el proceso de la investigación y era un problema que no dejaba avanzar, y se realizó la fabricación de una máquina implementando un gato hidráulico de ensayo de placa, para medir la tensión de los cable por medio de un manómetro para completar el método de postensado, en base a esta acción, se nota el esfuerzo adicional que subraya nuestra determinación y compromiso en avanzar en la investigación de estos materiales y sus aplicaciones en la construcción, al mismo tiempo, estos resultados destacan la importancia de seguir explorando y mejorando los materiales y técnicas de refuerzo en la ingeniería.

Sin embargo, la hipótesis inicial planteada resultó ser incorrecta, ya que el nylon es un material muy dúctil y sensible, contrario a las varillas reforzadas, el conocimiento adquirido sigue siendo valioso, debido a que contribuye al avance del conocimiento de los materiales y sus aplicaciones en la construcción, demostrando la importancia de la innovación y la adaptación en este campo en constante evolución.

Dado que se ha realizado una comparación en términos de resistencia a la flexión para comparar ambos métodos, los resultados indican que el concreto reforzado con varillas de acero convencionales es mucho mayor y se plantea la posibilidad de considerar una combinación de ambos métodos, esta estrategia podría permitir alcanzar una resistencia óptima y un equilibrio en desempeño. Cada método tiene sus ventajas y desventajas, y es esencial evaluar cuidadosamente cuál es la más adecuada en función de las necesidades. Además, se debe tener en cuenta que combinar ambos métodos podría ofrecer una solución que aproveche la resistencia de las varillas de acero convencionales y la ductilidad de los torones de nylon. En última instancia, la decisión debería ser el resultado de un equilibrio integral entre estos factores, teniendo en cuenta tanto la resistencia a la flexión como los aspectos económicos, técnicos, constructivos y ambientales.

4. Recomendaciones

Al concluir la investigación, es posible proporcionar recomendaciones considerando la mejora potencial en la resistencia a la flexión de las vigas de concreto. Ya que, es esencial evaluar la estructura a lo largo de su vida útil, teniendo en cuenta el mantenimiento, reparaciones, durabilidad y resistencia mecánica a medida que la estructura envejezca. Esta evaluación holística proporciona una perspectiva completa de la viabilidad económica de las dos opciones de refuerzo.

Hacer un análisis de eficiencia en los especímenes, es decir cambiar la configuración de nylon y cantidad de hilos, así como la cantidad de torones presentes en los especímenes de concreto, así mismo, si lo anterior aumenta o disminuye hacer un Análisis de Precio Unitario (APU).

En cuanto a recomendaciones mecánicas, hay realizar ensayos de laboratorio más detallados para entender en qué punto exacto las vigas reforzadas con torones de nylon a las cuales se les haya cambiado la configuración o cantidad, comienzan a fallar en comparación con las vigas reforzadas con varillas de acero. Esto proporcionará información valiosa sobre las limitaciones de carga y la resistencia estructural, así como costos. Teniendo en cuenta que los objetivos específicos y ensayos a realizar deben ser como mínimo los presentes en esta investigación. Por otra parte, crear simulaciones computacionales utilizando herramientas de simulación por software para modelar y predecir el comportamiento estructural de ambas configuraciones en diferentes escenarios de carga y condiciones ambientales, esto puede ayudar a identificar patrones de comportamiento y evaluar la respuesta de la estructura ante diferentes situaciones, así como conocer el comportamiento de la estructura a corto y largo plazo. Lo anterior con el fin de realizar análisis de deformación entre las dos configuraciones de refuerzo y conocer los desplazamientos de la estructura en condiciones de carga. Esto es crucial para comprender si hay alguna diferencia significativa en la capacidad de la estructura para mantener su integridad y forma bajo carga.

Para finalizar tener en cuenta las ventajas de los torones de nylon son especialmente relevantes en ciertos tipos de proyectos o situaciones específicas. Por ejemplo, podrían ser más adecuadas en estructuras de menor escala o en regiones con limitaciones presupuestarias y si no lo es evaluarlas con las varillas de refuerzo convencional.

Referencias Bibliográficas

- A.A., V. (1954). *últimas noticias sobre hormigón pretensado*. Madrid, España: Asociación Española de Hormigón pretensado del instituto Técnico de la Construcción y del cemento.
- Aleas Corena, M. (2017). *Influencia del tratamiento térmico criogénico en las propiedades mecánicas de resistencia al desgaste y microdureza de un acero para herramientas thyrodur 2510*. Proyecto de grado, Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogotá. Obtenido de <https://acortar.link/ZunURX>
- Barker, E., Money, K., & Sanborn, C. (1977). *Marine corrosion behavior of bare and metallic-coated steel reinforcing rods in concrete*. *ASTM International*. (Vol. Volumen 4).
- Cabañas Pérez, A. (2008). *Concreto presforzado*. Tesis profesional (optar título de Ingeniero Civil), Instituto Politecnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, México D.F. Obtenido de <https://acortar.link/dHTLnH>
- Carrillo, J., González, G., & Aperador, W. (Julio - Septiembre de 2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 14(21), 435-450. Obtenido de <https://acortar.link/qXeHfq>
- Cortes Gomez, E. A., & Perilla Sastoque, J. E. (2014). *Estudio comparativo de las características fisico-mecánicas de cuatro cementos comerciales portland tipo I*. Trabajo de grado (optar título de ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, Bogotá. Obtenido de <https://acortar.link/1KmsZx>
- Developer. (22 de 09 de 2022). Obtenido de <https://www.cemix.com/para-que-sirve-el-mortero-construccion/>

Lomakin, V.A.; Koltunov, M.A. (1965) effect of reinforcing elements on the deformation and strength of glass-reinforced plastics in tension. *Journal Polymer Mechanics*, 1 (2), pp. 79-86.
<https://acortar.link/tqlwYp>

Feliu, S., González, J. A., Andrade, C., & Feliu, J. S. (1989). Relationship between conductivity of concrete and corrosion of reinforcing bars. *journal Br. Corros. J.*, 24(3), 195-199. Obtenido de <https://acortar.link/HxuxS3>

Ford, H. (1966). *Teoría del taller*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.

Gobernación de Nariño. (2 de 01 de 2023). *Por qué Nariño*. Obtenido de <https://acortar.link/bEDR7o>

González, E. (28 de 04 de 2014). *Esfuerzo y Deformación*. traabjo, Instituto Universitario Politecnico Santiago Marino, Portamar. Obtenido de SlideShare: <https://acortar.link/NRHNCG>
Grupo Empresarial OIKOS S.A.S. (4 de Septiembre de 2020). *La construcción en Colombia y su evolución*. Obtenido de <https://acortar.link/8wyKy1>

Gutiérrez, A. S. (2016). *Análisis del concreto con nylon como aditivo para aligerar*. Proyecto (optar título de Ingeniero Civil), Universidad Libre seccional Pereira, Facultad de Ingenierías, Pereira. Obtenido de <https://acortar.link/1oWIEA>

Gutiérrez, D. E. (2019). Efecto de tres porcentajes de fibra nylon de cáñamo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22305>

Hernández-Sánchez, E. y Espinoza-Vázquez, A. (2015). Gel de aloe-vera como potencial inhibidor de la corrosión del acero de refuerzo estructural. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(3), 9-23.

Huamán, I., Quispe, J. (2017). Análisis de la consistencia, resistencia a compresión y tracción del concreto adicionando fibras de Nylon con agregados de la región Cusco. Tesis, Universidad Andina del Cusco. <https://acortar.link/pH70vX>

León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 215-240. Obtenido de <https://acortar.link/7UZjXB>

López, G. E., Cuenca, A. G., & Farías, E. S. (2010). *Concreto preesforzado: diseño y construcción*.

McCormac, J. C. y Brown, R. H. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. Alpha Editorial.

Meza Quintanilla, L. (s.f.). *Aspectos fundamentales del concreto presforzado*. Trabajo de diploma (optar título de Ingeniero Civil), Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Managua. Obtenido de <https://acortar.link/3rBaRP>

Moncaleano Acosta, C., & Jaramillo Campuzano, J. (2016). *Uso de diferentes agentes agregados finos y fibr egados finos y fibras en el concr as en el concreto fabricado con cuarzo como agregado grueso*. Trabajo de grado (optar título de Ingeniero Civil), Universidad de La Salle, Bogotá. Obtenido de <https://acortar.link/vtj6BM>

Monzón, R. (1 de julio de 2012). *Tecnología de los plasticos*. Obtenido de <https://acortar.link/ZS4iq>

Navarro Judiel, S. (5 de 10 de 2023). *Concreto preforzado*. Obtenido de <https://acortar.link/UHIAth>

Palmer, F. (1986). *Acero para herramientas*,. México D.F.: Representaciones y servicios de ingeniería.

Olaya-Moreno, L. J. y Parra Rojas, D. F. (2021). Banco didáctico de ensayos a torsión

- Paris Fernández, J. (16 de 11 de 2022). La pasta hidratada de cemento portland. *Revistas CSIC. ES*, 17-25. Obtenido de <https://acortar.link/y58pYu>
- Prada, M., Carrillo, J. y Gélvez, C. (2017). Variación de las cuantías de acero de refuerzo de muros de concreto para las categorías de disipación de energía definidas en NSR-10. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 29-47.
- Polo Honorio, J., & Risco Carranza, J. J. (2018). *Influencia de las fibras de acero en las propiedades físicas y mecánicas del concreto*, Trujillo.
- Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & Velazco, G. (2014). *Manual de concreto estructural* (Primera edición ed.). Caracas, Venezuela: Manual del concreto estructural. PAG Marketing soluciones. Obtenido de <https://acortar.link/OKefLN>
- Quintanilla Huayta, D. (2016). *ensayos experimentales en vigas de concreto postensado con tendones adheridos y no adheridos*. Tesis (optar título de Magister en Ingeniería Civil), pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado, Lima. Obtenido de <https://acortar.link/cLvacM>
- Quispe García, J. (22 de 06 de 2016). *Fraguado y durabilidad de concreto*. Obtenido de <https://acortar.link/tdeO2j>
- Roell, Z. (2016). *Resistencia a la tracción Rm*. Obtenido de <https://acortar.link/S94dKe>
- Sarria Villa, R., & Gallo Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27. Obtenido de <https://acortar.link/XowXF2>
- Servicio Geológico Colombiano. (2020). *Generalidades Volcán Galeras*. Obtenido de <https://acortar.link/cWpvmg>

Textos Científicos. com. (29 de 08 de 2005). *Propiedades del nylon*. Obtenido de <https://acortar.link/n8LgYd>

Torres, R., Díaz, M. L., & Marcial, D. (2018). Propuesta de Reforzamiento y Corrección de Patologías de Puentes de Concreto Mediante Técnicas de Pretensión Exterior. Jornadas de Investigación y Encuentro Académico Industrial, 1-8.

Trejo, J. J. G. Milián, G. A. y Velasco, J. R. (2014). Análisis inelástico de elementos de concreto reforzado basado en la mecánica del daño. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 39-48.

Wirtz Suarez, F. (1960). *Tecnología Mecánica*. Madrid: Aguilar.

Anexos

Anexo A. Diseño de mezcla

Paso 1: Datos		
Características de agregados		
Cemento uso general		
Propiedad	Cantidad	Unidades
Densidad	3100	kg/m3
Grueso		
Propiedad	Cantidad	Unidades
M.U.C	318,3098862	kg
Densidad	2207,550499	kg/m3
Absorción	1,094091904	%
Humedad	0,5530417295	%
Fino		
Propiedad	Cantidad	Unidades
Módulo finura	3	%
Densidad	2205,550499	kg/m3
Absorción	1,094091904	%
Humedad	1,01010101	%
Paso 2: asentamiento		
Cantidad	Unidades	
75	mm	
Paso 3: tamaño del agregado		
Propiedad	Cantidad	Unidades
TMN	1/2	in
TM	3/4	in

Paso 4: cantidad de aire en 1 m3		
Cantidad	Unidades	
2,5	%	
Paso 5: contenido de agua en 1 m3		
Propiedad	Cantidad	Unidades
Masa	218	kg
Volumen	218	L
Paso 6: resistencia		
Propiedad	Cantidad	Unidades
F'c	28	MPa
F'cr	36,3	Mpa
F'cr	363	kg/cm2
Paso 7: relación a/c en 1 m3		
Propiedad	Cantidad	Unidades
A/C	0,38	-
Paso 8: cantidad cemento en 1 m3		
Propiedad	Cantidad	Unidades
Masa	573,6842	kg
Volumen	0,185059	m3
Paso 9: granulometria		
Propiedad	Cumple o no	
Finos	√	
Gruesos	√	

Paso 10: cantidades de agregados			
Grueso			
Propiedad		Cantidad	Unidades
Módulo finura		3	%
b		0,53	-
Masa		168,7042	Kg
Volumen		0,0764	m3
Fino			
Propiedad		Cantidad	Unidades
Volumen		270,519	L
Masa		596,644	Kg
Paso 11: ajuste de agua			
Propiedad		Cantidad	Unidades
Masa		219,4139008	kg
Volumen		219,4139008	L
Paso 12: volumen de trabajo			
Descripcion (cm)	Propiedad	Valor	Unidades
1 FORMALETA 15*15*52	Volumen	0,0117	m3
6 FORMALETAS 15*15*52	Volumen	0,07020	m3
1 CILINDRO 20*10	Volumen	0,00157	m3
Total		0,08612	m3
Cemento uso general			
Cantidad			Unidades
49,41			kg
Grueso			
Cantidad			Unidades
14,530			kg
Fino			
Cantidad			Unidades
51,39			kg
Agua			
Cantidad			Unidades
18,90			L

Anexo B. Ensayo a tracción del nylon

RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Parámetro	Carga máxima (N)	Carga máxima (kgf)	Carga máxima (lbf)
Valor obtenido	772	79	173
Req. de norma	--	--	--

Figura 30

Curva Carga-Recorrido Nylon

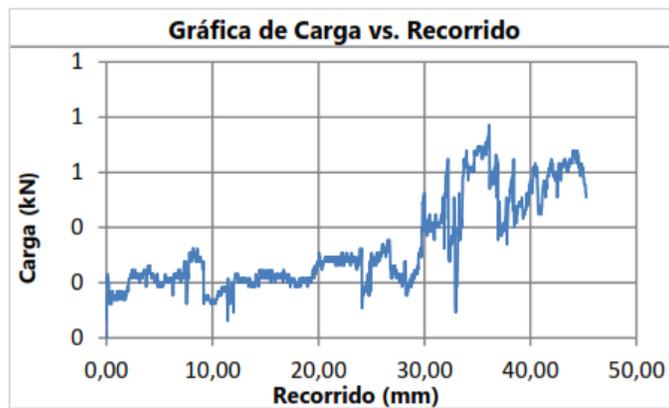
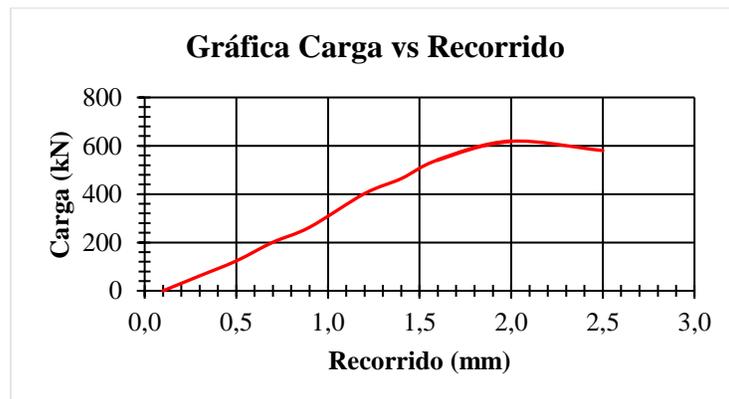


Figura 31

Curva Carga-Recorrido Hierro.



Resultados ensayo a tracción del toron de nylon		
Parámetro	Carga (N)	Distancia (mm)
Inicio	0	300
Fin	772	335

Anexo C. Ensayos a cilindros y vigas de concreto

Datos Cilindro 1		
Diámetro	102.00	mm
Altura	230.00	mm
Peso	3400.00	g
Área	8171.28	mm ²
Volumen	1879394.97	mm ³
Densidad	1809.09	kg/m ³
F'cL	23.01	Mpa

Cilindro 1								
Punto	kN	Mpa	26	57.03	6.98	52	78.69	9.63
0	0	0	27	57.93	7.09	53	79.49	9.73
2	15.35	1.88	28	58.79	7.19	54	80.33	9.83
3	17.43	2.13	29	59.67	7.30	55	81.14	9.93
4	20.67	2.53	30	60.51	7.40	56	81.99	10.03
5	24.09	2.95	31	61.32	7.50	57	82.79	10.13
6	27.22	3.33	32	62.19	7.61	58	83.58	10.23
7	30.14	3.69	33	63.01	7.71	59	84.44	10.33
8	32.96	4.03	34	63.82	7.81	60	85.23	10.43
9	35.38	4.33	35	64.68	7.92	61	86.05	10.53
10	37.57	4.60	36	65.48	8.01	62	86.90	10.63
11	39.53	4.84	37	66.35	8.12	63	87.71	10.73
12	41.42	5.07	38	67.17	8.22	64	88.56	10.84
13	43.01	5.26	39	67.98	8.32	65	89.35	10.94
14	44.44	5.44	40	68.85	8.43	66	90.17	11.03
15	45.87	5.61	41	69.64	8.52	67	91.01	11.14
16	47.11	5.77	42	70.45	8.62	68	91.82	11.24
17	48.27	5.91	43	71.31	8.73	69	92.61	11.33
18	49.41	6.05	44	72.12	8.83	70	93.47	11.44
19	50.45	6.17	45	72.96	8.93	71	94.26	11.54
20	51.45	6.30	46	73.77	9.03	72	95.12	11.64
21	52.46	6.42	47	74.56	9.13	73	95.92	11.74
22	53.41	6.54	48	75.43	9.23	74	96.72	11.84
23	54.33	6.65	49	76.22	9.33	75	97.58	11.94
24	55.29	6.77	50	77.03	9.43	76	98.38	12.04
25	56.16	6.87	51	77.88	9.53	77	99.17	12.14

Evaluación del nylon postensado como alternativa no convencional en vigas

78	100.04	12.24	115	130.05	15.92	152	159.97	19.58
79	100.83	12.34	116	130.89	16.02	153	160.76	19.67
80	101.62	12.44	117	131.70	16.12	154	161.59	19.78
81	102.46	12.54	118	132.49	16.21	155	162.37	19.87
82	103.26	12.64	119	133.33	16.32	156	163.15	19.97
83	104.09	12.74	120	134.13	16.41	157	163.98	20.07
84	104.91	12.84	121	134.98	16.52	158	164.77	20.16
85	105.69	12.93	122	135.75	16.61	159	165.55	20.26
86	106.54	13.04	123	136.54	16.71	160	166.37	20.36
87	107.33	13.13	124	137.38	16.81	161	167.15	20.46
88	108.12	13.23	125	138.17	16.91	162	167.99	20.56
89	108.97	13.34	126	138.98	17.01	163	168.78	20.66
90	109.76	13.43	127	139.82	17.11	164	169.55	20.75
91	110.57	13.53	128	140.60	17.21	165	170.37	20.85
92	111.41	13.63	129	141.37	17.30	166	171.16	20.95
93	112.21	13.73	130	142.21	17.40	167	171.94	21.04
94	113.04	13.83	131	143.00	17.50	168	172.78	21.14
95	113.85	13.93	132	143.84	17.60	169	173.55	21.24
96	114.64	14.03	133	144.61	17.70	170	174.37	21.34
97	115.48	14.13	134	145.40	17.79	171	175.14	21.43
98	116.27	14.23	135	146.23	17.90	172	175.92	21.53
99	117.07	14.33	136	147.04	17.99	173	176.75	21.63
100	117.93	14.43	137	147.83	18.09	174	177.52	21.72
101	118.71	14.53	138	148.67	18.19	175	178.29	21.82
102	119.51	14.62	139	149.47	18.29	176	179.09	21.92
103	120.33	14.73	140	150.31	18.39	177	179.87	22.01
104	121.12	14.82	141	151.10	18.49	178	180.68	22.11
105	121.98	14.93	142	151.87	18.59	179	181.46	22.21
106	122.77	15.02	143	152.71	18.69	180	182.22	22.30
107	123.56	15.12	144	153.50	18.79	181	183.02	22.40
108	124.41	15.23	145	154.29	18.88	182	183.79	22.49
109	125.21	15.32	146	155.13	18.98	183	184.60	22.59
110	126.00	15.42	147	155.91	19.08	184	185.33	22.68
111	126.84	15.52	148	156.75	19.18	185	186.06	22.77
112	127.62	15.62	149	157.53	19.28	186	186.80	22.86
113	128.48	15.72	150	158.33	19.38	187	187.48	22.94
114	129.26	15.82	151	159.18	19.48	188	188.03	23.01

Datos Cilindro 2		
Diametro	102.90	mm
Altura	232.00	mm
Peso	3402.00	g
Area	8316.12	mm ²
Volumen	1929339.32	mm ³
Densidad	1763.30	kg/m ³
F'cL	23.34	Mpa

Cilindro 2								
Punto	kN	Mpa	26	58.75	7.06	52	80.37	9.66
0	0	0	27	59.64	7.17	53	81.17	9.76
2	17.02	2.05	28	60.46	7.27	54	82.02	9.86
3	20.22	2.43	29	61.35	7.38	55	82.83	9.96
4	24.21	2.91	30	62.17	7.48	56	83.62	10.06
5	28.18	3.39	31	62.99	7.57	57	84.49	10.16
6	31.46	3.78	32	63.85	7.68	58	85.27	10.25
7	34.31	4.13	33	64.67	7.78	59	86.09	10.35
8	36.83	4.43	34	65.49	7.87	60	86.95	10.46
9	39.15	4.71	35	66.35	7.98	61	87.73	10.55
10	41.08	4.94	36	67.17	8.08	62	88.60	10.65
11	42.79	5.15	37	67.96	8.17	63	89.39	10.75
12	44.39	5.34	38	68.84	8.28	64	90.19	10.85
13	45.78	5.50	39	69.64	8.37	65	91.04	10.95
14	47.04	5.66	40	70.51	8.48	66	91.86	11.05
15	48.30	5.81	41	71.30	8.57	67	92.66	11.14
16	49.37	5.94	42	72.12	8.67	68	93.54	11.25
17	50.42	6.06	43	72.97	8.77	69	94.33	11.34
18	51.51	6.19	44	73.78	8.87	70	95.18	11.45
19	52.46	6.31	45	74.59	8.97	71	95.99	11.54
20	53.39	6.42	46	75.44	9.07	72	96.79	11.64
21	54.36	6.54	47	76.25	9.17	73	97.66	11.74
22	55.25	6.64	48	77.09	9.27	74	98.46	11.84
23	56.13	6.75	49	77.91	9.37	75	99.25	11.94
24	57.04	6.86	50	78.70	9.46	76	100.07	12.03
25	57.90	6.96	51	79.58	9.57	77	100.94	12.14

78	101.73	12.23	109	127.08	15.28	140	152.31	18.31	171	177.40	21.33
79	102.58	12.34	110	127.87	15.38	141	153.15	18.42	172	178.20	21.43
80	103.37	12.43	111	128.73	15.48	142	153.93	18.51	173	178.99	21.52
81	104.22	12.53	112	129.52	15.57	143	154.73	18.61	174	179.81	21.62
82	105.04	12.63	113	130.33	15.67	144	155.57	18.71	175	180.61	21.72
83	105.83	12.73	114	131.17	15.77	145	156.36	18.80	176	181.38	21.81
84	106.68	12.83	115	131.96	15.87	146	157.20	18.90	177	182.22	21.91
85	107.48	12.92	116	132.76	15.96	147	158.00	19.00	178	183.00	22.01
86	108.28	13.02	117	133.61	16.07	148	158.81	19.10	179	183.82	22.10
87	109.12	13.12	118	134.40	16.16	149	159.63	19.20	180	184.61	22.20
88	109.92	13.22	119	135.27	16.27	150	160.45	19.29	181	185.42	22.30
89	110.77	13.32	120	136.06	16.36	151	161.23	19.39	182	186.22	22.39
90	111.57	13.42	121	136.86	16.46	152	162.06	19.49	183	187.01	22.49
91	112.39	13.51	122	137.69	16.56	153	162.90	19.59	184	187.79	22.58
92	113.23	13.62	123	138.51	16.66	154	163.68	19.68	185	188.63	22.68
93	114.04	13.71	124	139.29	16.75	155	164.53	19.78	186	189.38	22.77
94	114.82	13.81	125	140.15	16.85	156	165.31	19.88	187	190.18	22.87
95	115.69	13.91	126	140.93	16.95	157	166.11	19.97	188	190.95	22.96
96	116.47	14.01	127	141.73	17.04	158	166.95	20.08	189	191.717	23.05
97	117.31	14.11	128	142.57	17.14	159	167.74	20.17	190	192.485	23.15
98	118.11	14.20	129	143.38	17.24	160	168.51	20.26	191	193.18	23.23
99	118.91	14.30	130	144.22	17.34	161	169.36	20.37	192	193.781	23.30
100	119.75	14.40	131	145.02	17.44	162	170.14	20.46	193	194.121	23.34
101	120.57	14.50	132	145.80	17.53	163	170.98	20.56	194	193.332	23.25
102	121.38	14.60	133	146.66	17.64	164	171.75	20.65			
103	122.21	14.70	134	147.45	17.73	165	172.55	20.75			
104	122.99	14.79	135	148.24	17.83	166	173.37	20.85			
105	123.79	14.89	136	149.08	17.93	167	174.17	20.94			
106	124.62	14.99	137	149.89	18.02	168	174.95	21.04			
107	125.44	15.08	138	150.73	18.12	169	175.79	21.14			
108	126.22	15.18	139	151.53	18.22	170	176.57	21.23			

Resistencia promedio		
F'cL	23.18	Mpa
F'cL	236.34	kg/cm2

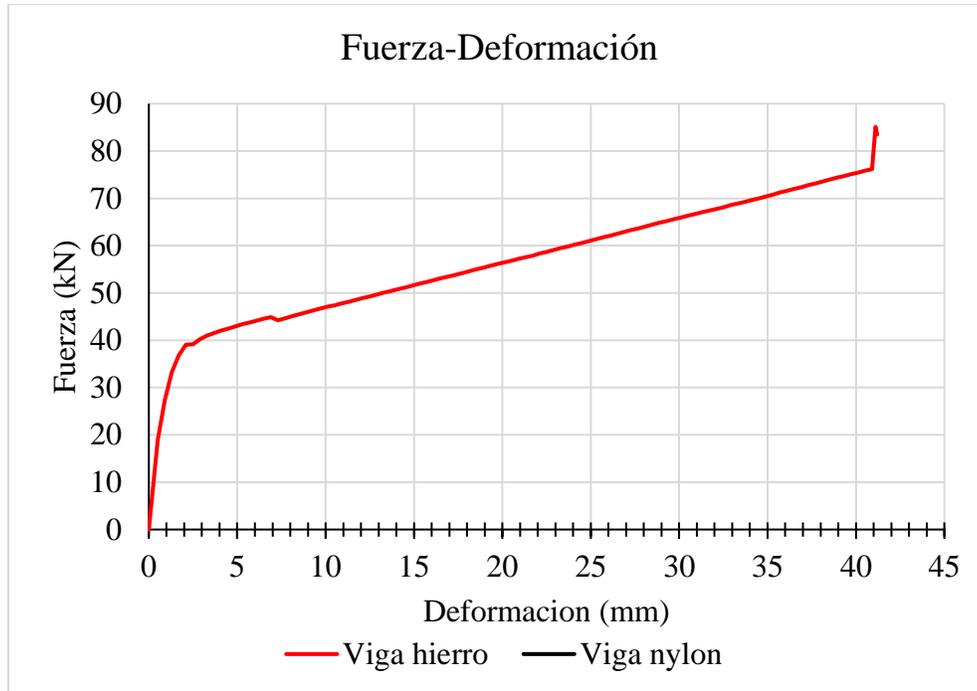
Viga hierro		
b	15	cm
d	15	cm
L	49	cm
P	85,096	kN
a	2	cm

Viga hierro							
Punto	kN	MR	Deformación (mm)	Punto	kN	MR	Deformación (mm)
0	0	0	0	209	57,212	1,0171022	20,9
5	18,992	0,3376356	0,5	213	57,563	1,0233422	21,3
9	27,319	0,4856711	0,9	217	57,885	1,0290667	21,7
13	33,223	0,5906311	1,3	221	58,309	1,0366044	22,1
17	36,811	0,6544178	1,7	225	58,704	1,0436267	22,5
21	39,041	0,6940622	2,1	229	59,055	1,0498667	22,9
25	39,149	0,6959822	2,5	233	59,464	1,0571378	23,3
29	40,22	0,7150222	2,9	237	59,852	1,0640356	23,7
33	40,982	0,7285689	3,3	241	60,239	1,0709156	24,1
37	41,558	0,7388089	3,7	245	60,59	1,0771556	24,5
41	42,054	0,7476267	4,1	249	60,992	1,0843022	24,9
45	42,5	0,7555556	4,5	253	61,372	1,0910578	25,3
49	42,938	0,7633422	4,9	257	61,782	1,0983467	25,7
53	43,377	0,7711467	5,3	261	62,133	1,1045867	26,1
57	43,765	0,7780444	5,7	265	62,542	1,1118578	26,5
61	44,132	0,7845689	6,1	269	62,922	1,1186133	26,9
65	44,542	0,7918578	6,5	273	63,31	1,1255111	27,3
69	44,916	0,7985067	6,9	277	63,661	1,1317511	27,7
73	44,226	0,78624	7,3	281	64,055	1,1387556	28,1
77	44,592	0,7927467	7,7	285	64,436	1,1455289	28,5
81	45,103	0,8018311	8,1	289	64,83	1,1525333	28,9
85	45,513	0,80912	8,5	293	65,167	1,1585244	29,3
89	45,93	0,8165333	8,9	297	65,591	1,1660622	29,7
93	46,333	0,8236978	9,3	301	65,964	1,1726933	30,1
97	46,721	0,8305956	9,7	305	66,322	1,1790578	30,5
101	47,095	0,8372444	10,1	309	66,651	1,1849067	30,9
105	47,397	0,8426133	10,5	313	67,053	1,1920533	31,3
109	47,756	0,8489956	10,9	317	67,404	1,1982933	31,7
113	48,13	0,8556444	11,3	321	67,755	1,2045333	32,1
117	48,526	0,8626844	11,7	325	68,113	1,2108978	32,5
Punto	kN	MR	Deformación (mm)	Punto	kN	MR	Deformación (mm)

121	48,914	0,8695822	12,1	329	68,53	1,2183111	32,9
125	49,288	0,8762311	12,5	333	68,888	1,2246756	33,3
129	49,655	0,8827556	12,9	337	69,224	1,2306489	33,7
133	50,05	0,8897778	13,3	341	69,605	1,2374222	34,1
137	50,431	0,8965511	13,7	345	69,992	1,2443022	34,5
141	50,786	0,9028622	14,1	349	70,401	1,2515733	34,9
145	51,159	0,9094933	14,5	353	70,789	1,2584711	35,3
149	51,568	0,9167644	14,9	357	71,22	1,2661333	35,7
153	51,934	0,9232711	15,3	361	71,593	1,2727644	36,1
157	52,314	0,9300267	15,7	365	71,995	1,2799111	36,5
161	52,694	0,9367822	16,1	369	72,353	1,2862756	36,9
165	53,074	0,9435378	16,5	373	72,77	1,2936889	37,3
169	53,447	0,9501689	16,9	377	73,128	1,3000533	37,7
173	53,791	0,9562844	17,3	381	73,552	1,3075911	38,1
177	54,2	0,9635556	17,7	385	73,911	1,3139733	38,5
181	54,573	0,9701867	18,1	389	74,313	1,32112	38,9
185	54,946	0,9768178	18,5	393	74,693	1,3278756	39,3
189	55,341	0,98384	18,9	397	75,066	1,3345067	39,7
193	55,692	0,99008	19,3	401	75,453	1,3413867	40,1
197	56,094	0,9972267	19,7	405	75,826	1,3480178	40,5
201	56,474	1,0039822	20,1	409	76,184	1,3543822	40,9
205	56,825	1,0102222	20,5	411	85,096	1,5128178	41,1
				412	83,524	1,4848711	41,2

Viga nylon						
b	15	cm	Punto	kN	MR	Deformación (mm)
d	15	cm	0	0	0	0
L	49	cm	2	13.89	2.02	0.6
P	0	kN	3	16.32	2.37	1.2
			4	18.71	2.72	1.8
			5	21.06	3.06	2.4
			6	23.31	3.38	3
			7	25.54	3.71	3.6
			8	27.48	3.99	4.2
			9	29.23	4.24	4.8
			10	30.22	4.39	5.4
			11	30.98	4.50	6
			12	31.56	4.58	6.6
			13	32.05	4.65	7.2
			14	32.50	4.72	7.8
			15	32.94	4.78	8.4
			16	33.38	4.85	9
			17	33.77	4.90	9.6
			18	34.13	4.96	10.2
			19	34.54	5.01	10.8
			20	34.92	5.07	11.4
			21	34.23	4.97	12
			22	34.59	5.02	12.6
			23	35.10	5.10	13.2
			24	35.51	5.16	13.8
			25	35.93	5.22	14.4
			26	36.33	5.28	15
			27	36.72	5.33	15.6
			28	37.10	5.39	16.2
			29	37.40	5.43	16.8
			30	37.76	5.48	17.4
			31	38.13	5.54	18
			32	38.53	5.59	18.6
			33	38.91	5.65	19.2
			34	39.29	5.70	19.8

MR teórico	
30.746558	kg/cm ²
3.0151961	MPa



Espécimen	Valor	Unidad	Descripción
Cilindro 1	23.01	MPa	Resistencia máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Cilindro 2	23.34	MPa	Resistencia máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Promedio Cilindros	23.18	MPa	Resistencia máxima promedio del ensayo a compresión.
Viga nylon	5.70	MPa	Módulo de ruptura de la viga de nylon
Viga Hierro	1.51	MPa	Módulo de ruptura de la viga de hierro
Cilindro 1	188.027	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Cilindro 2	194.121	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Promedio Cilindros	191.074	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a compresión.
Viga nylon	39.288	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a flexión.
Viga Hierro	85.10	kN	Fuerza máxima alcanzada en el ensayo a flexión.