

APOYO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGMENTO DE VIGA I Y
TOMAS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA DE UN ESPÉCIMEN
DE CONCRETO DENTRO DEL PROYECTO VIE-UIS 2823.

MARCOS ELIAN ARIZA ASPRILLA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2024

APOYO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGMENTO DE VIGA I Y
TOMAS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA DE UN ESPÉCIMEN
DE CONCRETO DENTRO DEL PROYECTO VIE-UIS 2823.

MARCOS ELIAN ARIZA ASPRILLA

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil

Director

José Miguel Benjumea Royero

Ph.D. en Ingeniería Civil

Codirector (Opcional)

Oscar Javier Begambre Carrillo

Ph.D. en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA ACADÉMICO
BUCARAMANGA

2024

DEDICATORIA

Queridos padres y Apreciada tía.

A ustedes, pilares inquebrantables de mi vida, les dedico con profundo amor y gratitud este trabajo de grado. Su incondicional apoyo, sabiduría y amor han sido mi fuente de inspiración a lo largo de esta travesía académica. A mi madre, cuyo cariño y sacrificio son la luz que ilumina mi camino; a mi padre, cuya fortaleza y guía han sido mi brújula; y a mi querida tía, cuyo aliento y apoyo constante han sido un bálsamo en los momentos más desafiantes.

Este logro no solo es mío, sino también de ustedes, quienes han sembrado las semillas del éxito en mi vida. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada sacrificio han sido piezas fundamentales en la construcción de este proyecto. A través de este trabajo, deseo honrarlos y agradecerles por ser mis fuentes de inspiración y motivación constante.

Con profundo cariño y agradecimiento

Marcos Ariza

CONTENIDO

	pág.
1.MARCO TEÓRICO.....	12
1.1 CARGAS TÉRMICAS EN PUENTES.....	12
1.2 GRADIENTE VERTICAL TÉRMICO	13
1.3 MATERIALES PARA MODELOS DE CONCRETO REFORZADO	13
1.3.1 CONCRETO DE PESO NORMAL	13
1.3.2 ACERO DE REFUERZO.....	14
1.3.3 SENSORES DE MEDICIÓN Y TEMPERATURA.....	14
1.4 TIPOS DE VIGAS PARA PUENTES.....	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. DESARROLLO DE LA PASANTÍA EN INVESTIGACIÓN	18
3.1 FASE I.....	18
3.1.1 UBICACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	18
3.1.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VIGA TIPO I	27
3.1.3 DIBUJO DEL PLANO ESTRUCTURAL DE LA VIGA TIPO I.....	32
3.2 FASE II.....	32
3.3 FASE III.....	34
4. CONCLUSIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Efectos generados por la variación de temperatura	12
Figura 2. Termocupla	15
Figura 3: Estación meteorológica, dron y cámara de mano.	15
Figura 4. Vigas tipo I (izquierda) y tipo cajón (derecha).	16
Figura 5. Terraza del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.....	19
Figura 6. Plano estructural segundo piso del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.	20
Figura 7. Modelo estructural del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.....	21
Figura 8. Cargas aplicadas en el modelo estructural.....	22
Figura 9. Plano estructural de terraza edificio Álvaro Beltrán Pinzón, zona nororiental.	23
Figura 10. Cargas máximas en vigas de interés.....	24
Figura 11. Modelo de sección transversal de la vigueta- losa (izquierda) y viga 20K (derecha).....	25
Figura 12. Curva esfuerzo versus deformación unitaria del concreto (izquierda) y del acero (derecha)	25
Figura 13. Diagrama curvatura de la vigueta-losa.	26
Figura 14. Diagrama curvatura de la viga 20K	26
Figura 15. Sección transversal viga tipo I.	28
Figura 16. Correo de solicitud para cotización de la viga tipo I.....	32
Figura 17. Cotización recibida por parte de Peralta Ingeniería S.A.S.....	33
Figura 18. Viga tipo I construida.	34
Figura 19. Espécimen de concreto.	35
Figura 20. Foto térmica del espécimen de concreto.....	36
Figura 21. Reporte.....	36

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Cargas de diseño.....	22
Tabla 2. Datos iniciales de la viga tipo I.....	27
Tabla 3. Momento y cortante máximo mayorado de la viga AASHTO tipo I.	28
Tabla 4. Cantidad de refuerzo a flexión.	29
Tabla 5. Datos iniciales de la losa superior.....	29
Tabla 6. Cantidad de refuerzo a cortante.....	30
Tabla 7. Datos iniciales de la losa superior.....	31

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Plano estructural de la viga tipo I.....	41
Anexo B. Evaluación de cotizaciones.....	42

RESUMEN

TÍTULO: APOYO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEGMENTO DE VIGA I Y TOMAS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA DE UN ESPÉCIMEN DE CONCRETO DENTRO DEL PROYECTO VIE-UIS 2823.

AUTOR: MARCOS ELIAN ARIZA ASPRILLA

PALABRAS CLAVE: PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TERMICAS, CONCENTRACIÓN DE TEMPERATURA, VIGA TIPO I, CONSTRUCCIÓN, PROCESOS CONTRACTUALES.

DESCRIPCIÓN: En este documento se reportan las actividades y resultados obtenidos en la pasantía de investigación en el Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción (INME) en el marco de investigación VIE-UIS-2823, titulado “sistema piloto para el monitoreo térmico de puentes viga cajón en Colombia”. Las actividades de apoyo realizadas consistieron en el diseño de una viga-losa de longitud 1.2 m con sección AASHTO tipo I; la gestión de cotizaciones, materiales y procesos contractuales para la construcción del segmento de viga de concreto reforzado; y la toma de imágenes térmicas tomadas sobre la superficie de la viga y su procesamiento mediante el software FLIR Thermal Studio (c). Del apoyo al diseño de la viga tipo I se logró, además del diseño, encontrar el lugar apropiado para su construcción teniendo en cuenta la capacidad portante del mismo. Sobre la gestión de cotizaciones para la construcción de la viga se consideraron elementos claves como el tiempo de construcción, costos y calidad, para elegir a la empresa constructora de la viga. A partir del procesamiento de las fotos termográficas se encontraron las zonas con mayor concentración de temperatura.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: José Miguel Benjumea Royero. Ph.D. en Ingeniería Civil. Codirector: Oscar Javier Begambre Carrillo. Ph.D en ingeniería Civil.

ABSTRACT

TITLE: ASSISTANCE IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN I-GIRDER SEGMENT, AND THE COLLECTION AND PROCESSING OF TEMPERATURE DATA ON A CONCRETE SPECIMEN WITHIN VIE-UIS-2023 PROJECT

AUTHOR: MARCOS ELIAN ARIZA ASPRILLA

KEY WORDS: THERMAL IMAGE PROCESSING; TEMPERATURE CONCENTRATION; TYPE I BEAM; CONSTRUCTION; CONTRACTUAL PROCESSES.

DESCRIPTION: This document reports the activities and results obtained in the research internship in the Construction Materials and Structures Research Group (INME) in the research framework VIE-UIS-2823, entitled “pilot system for thermal monitoring of bridges.” box beam in Colombia”. The support activities carried out consisted of the design of a 1.2 m long beam-slab with AASHTO type I section; managing quotes, materials and contractual processes for the construction of the reinforced concrete beam segment; and taking thermal images taken on the surface of the beam and processing them using the FLIR Thermal Studio software (c). Supporting the design of the type I beam, it was possible, in addition to the design, to find the appropriate place for its construction taking into account its bearing capacity. Regarding the management of quotes for the construction of the beam, key elements such as construction time, costs and quality were considered to choose the beam construction company. From the processing of the thermographic photos, the areas with the highest concentration of temperature were found.

*Degree work

**Physical-mechanical Engineering Faculty. School of Civil Engineering. Director: José Miguel Benjumea Royero. Doctor in Civil Engineering. Codirector: Oscar Javier Begambre Carrillo. Doctor in Civil Engineering.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, tanto el diseño como la construcción de puentes en Colombia están regulados por la Norma Colombiana de Puentes CCP-14¹. Sin embargo, los parámetros utilizados para el gradiente térmico se basan en la norma americana AASHTO-LRFD Bridge Design Specifications, cuyos valores de referencia difieren significativamente de la realidad climatológica actual en Colombia². Un ejemplo claro de esto son las diferencias estacionales, donde mientras que en América del Norte existen cuatro, en Colombia solo se tienen épocas de lluvias o sequías.

Las cargas térmicas pueden generar efectos significativos en los puentes². Por esta razón, los esfuerzos que éstas inducen en las superestructuras han sido tema de interés para los investigadores durante décadas³. Dado que los puentes durante su vida útil están expuestos a cargas ambientales, sufren ciclos de calentamiento y enfriamiento que conducen ganancia y pérdida de temperatura. La variación de temperatura entre la superficie exterior e interior da como resultado gradiente de temperatura no lineales en las diferentes direcciones de la estructura⁴. Estos gradientes generan deformaciones

¹ E. Castell, "NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES – LRFD – CCP14", 2014. P.1-14

² Hernán David Menses Real, "Temperatura superficial in situ en el puente vehicular de la avenida américas Boyacá y el puente intercambiador vial el tizón.," PROYECTO DE INVESTIGACION, p. 1-112, 2020.

³ M. Martín and K. Lukas, "Thermal effects on box girder concrete bridges," in Key Engineering Materials, Trans Tech Publications Ltd, 2017, p.273-283.

⁴ T. Hossain, S. Segura, and A. M. Okeil, "Structural effects of temperature gradient on a continuous prestressed concrete girder bridge: analysis and field measurements," Structure and Infrastructure Engineering, vol.16, no.11, pp.1539-1550.

adicionales dentro de la estructura, provocando agrietamiento en el concreto y reduciendo la vida útil de la superestructura⁵.

La situación climatológica actual en el mundo hace que el monitoreo térmico de las estructuras sea considerado como indispensable. De esta manera, se pueden conocer los valores reales para el diseño en Colombia y garantizar que la estructura tenga un desempeño satisfactorio⁶. Verificando que los resultados teóricos de diseño proporcionados por los manuales sean congruentes con las mediciones in situ y, en caso contrario, contar con un rango de seguridad previamente establecido.

Considerando las necesidades de monitoreo térmico de puentes en Colombia, se propone este proyecto de grado en modalidad de pasantía en investigación en el marco del proyecto “Sistema piloto para el monitoreo térmico de puentes en vigas cajón en Colombia”. Los objetivos específicos de esta pasantía son: (1) diseñar el segmento de viga AASHTO tipo I construido en concreto reforzado, teniendo en cuenta los requisitos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño de Puente (CPP-14), (2) apoyar la gestión de cotizaciones, materiales y procesos contractuales para la construcción del segmento de viga de concreto reforzado y (3) apoyar la toma de imágenes térmicas y su procesamiento mediante programas disponibles.

⁵ S. R. Abid and M. Özakça, “Temperature records in concrete box-girder segment subjected to solar radiation and air temperature changes,” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing, jul. 2020, pp.120-122.

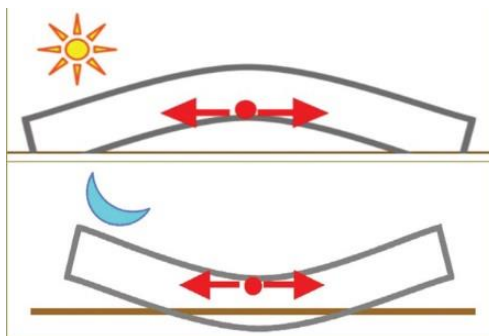
⁶ B. Gu, F. Y. Zhou, W. Gao, F. Z. Xie, and L. H. Lei, “Temperature Gradient and Its Effect on Long-Span Prestressed Concrete Box Girder Bridge,” Advances in Civil Engineering, vol. 2020, 2020, pp.130-138.

1.MARCO TEÓRICO

1.1 CARGAS TÉRMICAS EN PUENTES

Desde la generación de calor causada por la hidratación del cemento, las estructuras de los puentes comienzan a experimentar los efectos térmicos y sus consecuentes efectos mecánicos. Es de gran interés el estudio de estos fenómenos debido a la magnitud de las fuerzas internas que pueden producirse. Estas fuerzas pueden alcanzar valores cercanos a los producidos por las cargas muertas o vivas durante la vida útil de la estructura. Las cargas térmicas son productos de los cambios de temperatura en los intervalos de tiempo, si se tiene en cuenta el calor absorbido de la radiación solar y la temperatura del ambiente, así como su pérdida en forma de irradiación y conducción hacia estructuras cercanas, tales como apoyos o elementos complementarios a la estructura. También hay efectos de convección durante las horas donde la temperatura es más baja como se puede observar en la siguiente imagen (Fig. 1). Estos cambios generan esfuerzos de flexión debido a gradientes térmicos, o bien, esfuerzos axiales debido a las restricciones a la expansión o contracción del elemento en sus apoyos⁷.

Figura 1. Efectos generados por la variación de temperatura



Fuente: Propia

⁷ C. BALLESTEROS, "Análisis numérico de los gradientes térmicos por cargas de temperatura de concreto reforzado," *universidad Antonio Nariño*, pp. 1–99, 2022.

1.2 GRADIENTE VERTICAL TÉRMICO

En los últimos años, se han llevado a cabo diversos estudios relacionados con efectos térmicos en las superestructuras de concreto. Esto se debe a que estos efectos pueden generar esfuerzos internos que causan deformaciones en toda la estructura y sus elementos. Las acciones térmicas se diferencian de otros tipos de cargas por ser una carga restrictiva. Si se restringen estas deformaciones, las variaciones de temperatura dan como resultado tensiones térmicas, lo que puede provocar que el campo de tensiones cambie a lo largo de la estructura y también en la sección transversal.

Los cambios uniformes de temperatura provocan principalmente cambios en su longitud, expansión o contracción. El gradiente de temperatura vertical se refiere a la variación de temperatura que ocurre en sentido vertical o largo de una estructura de concreto³. Esta variación se debe a las condiciones climáticas, la exposición al sol, temperatura ambiente y la resistencia térmica de la estructura. Un claro ejemplo del gradiente vertical térmico puede darse en climas fríos: la superficie exterior de la estructura está expuesta a temperaturas más bajas, mientras que, en el interior de la estructura, donde está más protegida, la temperatura puede ser más alta.

1.3 MATERIALES PARA MODELOS DE CONCRETO REFORZADO

1.3.1 CONCRETO DE PESO NORMAL

En lo que respecta a la construcción de elementos pree forzados y para tableros, se establece en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP14) que la resistencia mínima requerida del concreto es de 28MPa, mientras que la máxima permitida es de 70MPa. Se recomienda que las resistencias de diseño para el concreto de peso normal no excedan los 70MPa y que solo se utilicen cuando existan artículos específicos que lo permitan o cuando se realicen ensayos físicos que establezcan la relación entre la resistencia del concreto y otras propiedades relevantes.

Por otro lado, en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP14), se advierte que los concretos especificados con resistencias menores a 16 MPa no deberían ser utilizados en aplicaciones estructurales¹. Es importante tener en cuenta estos requisitos y recomendaciones para garantizar la seguridad y la durabilidad de las construcciones.

1.3.2 ACERO DE REFUERZO

Es necesario que las barras de refuerzo, los alambres corrugados, los alambres estirados en frío, la malla electrosoldada y la malla electrosoldada con alambres corrugados cumplan con las normas de materiales especificadas en el artículo 9.2 de las especificaciones de construcción de puentes de la AASHTO LRFD. De acuerdo con estas especificaciones, la resistencia nominal de fluencia del acero corrugado debe ser la mínima especificada para el grado de acero seleccionado. Sin embargo, es importante destacar que no se deben usar resistencias de fluencia mayores a 520 MPa para fines de diseño.

En cuanto a las barras con resistencia de fluencia menores a 420 MPa, solo se deben utilizar con la aprobación del propietario. Es necesario cumplir con estas especificaciones para garantizar la calidad y seguridad de los materiales utilizados en la construcción de puentes¹.

1.3.3 SENSORES DE MEDICIÓN Y TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud física que se define como la medida de la cantidad de energía térmica presente en un objeto o sistema. Es indudable que la temperatura es una de las magnitudes físicas más medidas en la actualidad. No obstante, medir con precisión este parámetro no es una tarea sencilla. Para llevar a cabo esta tarea,

es necesario definir de manera precisa la finalidad de la medición y determinar cómo se llevará a cabo dicha medición⁸.

En este sentido, resulta crucial conocer elementos de medición térmica como las termocuplas (Fig. 2) y las cámaras termográficas (Fig. 3), las cuales pueden encontrarse en dos versiones: una cámara de manos o incorporada en un dron. Además, existen herramientas especializadas para medir la temperatura del medio ambiente, tales como las estaciones meteorológicas (Fig. 3).

Figura 2. Termocupla



Fuente: Sterlingsensors.

Figura 3: Estación meteorológica, dron y cámara de mano.



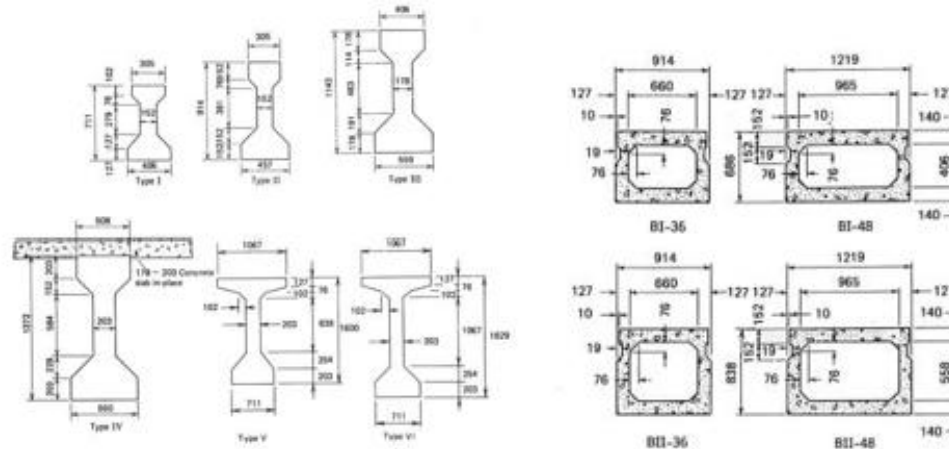
Fuente: Propia.

⁸ M. A. Lara and Y. R. Gaspar, "TERMOCUPLAS: UNA ALTERNATIVA PARA LA MEDICION DE TEMPERATURAS," 2000., pp. 10-11.

1.4 TIPOS DE VIGAS PARA PUENTES

Desde 1950, en América latina se han construido diversos puentes utilizando vigas AASHTO y concreto presforzado, un material estructural de excelentes propiedades, especialmente en puentes de carretera donde la durabilidad y el mantenimiento son fundamentales. Por tanto, miles de puentes en todo el mundo han sido construidos con este material⁹. Las vigas AASHTO son ampliamente recomendadas a nivel mundial debido a sus características, diseño sencillo, alta durabilidad, entre otras ventajas. Estas vigas se dividen en dos grupos: tipo I y tipo cajón (Fig. 4).

Figura 4. Vigas tipo I (izquierda) y tipo cajón (derecha).



Fuente: AASHTO

⁹ Grupo Compre, "Vigas AASHTO - Grupo Compre," 2022., pp. 1-2.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Apoyar las actividades de diseño y construcción de un segmento de viga I de concreto reforzado y la toma y procesamiento de datos de temperatura en un espécimen de concreto dentro del proyecto VIE-UIS 2823.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el segmento de viga AASHTO tipo I construido en concreto reforzado, teniendo en cuenta los requisitos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño de Puente (CCP-14).
- Apoyar la gestión de cotizaciones, materiales y procesos contractuales para la construcción del segmento de viga de concreto reforzado.
- Apoyar la toma de imágenes térmicas y su procesamiento mediante programas disponibles.

3. DESARROLLO DE LA PASANTÍA EN INVESTIGACIÓN

La pasantía en investigación se llevó a cabo de manera secuencial y organizada, dividida en tres fases. Estas fases consisten en el apoyo al (I) diseño de una viga-losa de longitud 1.2 m con sección AASHTO tipo I, (II) la gestión de cotizaciones, materiales y procesos contractuales para la construcción del segmento de viga de concreto reforzado y (III) en la toma de imágenes térmicas y su procesamiento mediante el software FLIR Thermal Studio (c).

3.1 FASE I

La fase inicial de la pasantía se desglosó en tres componentes: la determinación y análisis del sitio donde se construiría la viga; el diseño de la viga; y la creación del plano para la cotización y construcción de la viga.

3.1.1 UBICACIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El primer desafío planteado durante la pasantía en investigación consistió en la identificación de un entorno apropiado para la construcción de la viga. Esta tarea fue de vital importancia debido a la necesidad de considerar múltiples factores, tales como la radiación solar, la seguridad de los equipos involucrados y la capacidad de carga del sitio seleccionado. En virtud de estas razones, se concluyó que la terraza nororiental del edificio Álvaro Beltrán Pinzón (Fig. 5) sería el lugar ideal para llevar a cabo dicha actividad.

Figura 5. Terraza del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.

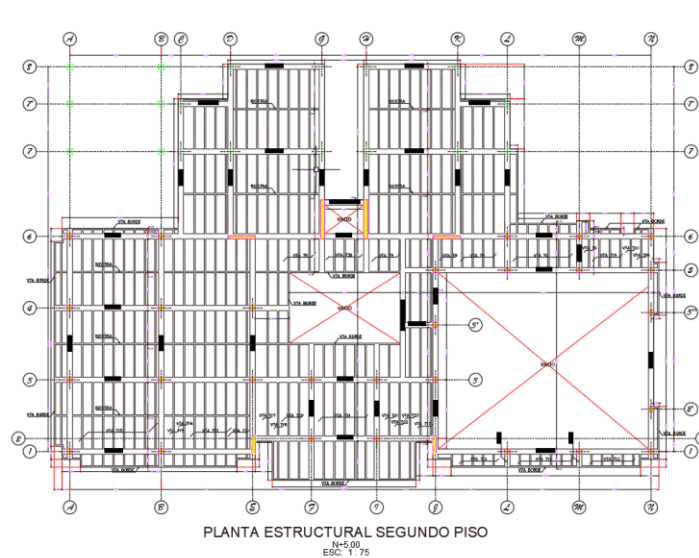


Fuente: Propia.

En la terraza se distingue la incorporación de una puerta estratégicamente ubicada, cuya finalidad radica en el control de accesos y la regulación del flujo de personas. Así mismo, la proximidad de un mezanine en las cercanías de la terraza complementa este enfoque de seguridad, proporcionando un punto de observación elevado que permite la vigilancia efectiva del área circundante.

Una vez seleccionada la ubicación, se procedió a calcular la resistencia de los diferentes elementos estructurales que componen la terraza (losa, viguetas, vigas y columnas). De esta forma se pudo cuantificar el comportamiento estructural esperado de estos elementos al agregarle el peso de la viga. Para este fin, se consultaron los planos constructivos del edificio (Fig. 6), los cuales fueron facilitados por la División de Planta Física de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 6. Plano estructural segundo piso del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.



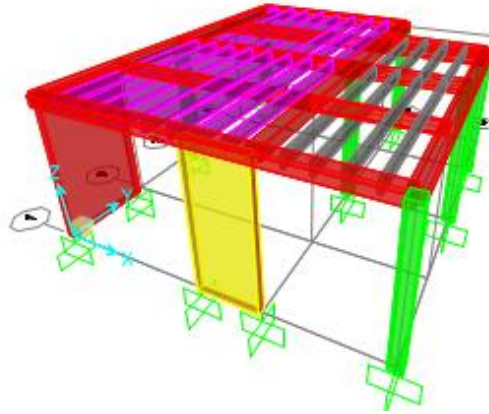
Fuente: Universidad Industrial de Santander.

A partir de los planos estructurales se pudo identificar los elementos principales que componen la terraza. Las columnas presentan dimensiones de 0.4 x 0.4 m en su sección transversal; las vigas son de 0.4 x 0.4 m; los muros presentan espesor de 0.25 m; las viguetas presentan dimensiones de 0.1 x 0.4 m, y la losa tiene un espesor de 0.07 m. Al mismo tiempo, se identificaron las especificaciones de los materiales usados para su construcción, los cuales son: Concreto con una resistencia a la compresión de 28 MPa y acero de refuerzo con una resistencia a la fluencia de 420 MPa.

Con los datos obtenidos se desarrolló un modelo estructural de la terraza (Fig. 7). Este modelo fue creado utilizando el software SAP2000¹⁰. Con el objetivo de obtener una estimación precisa de las cargas que actúan sobre dicha estructura.

¹⁰ Habibullah, A. (2020). SAP2000 v20. Disponible en <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000>

Figura 7. Modelo estructural del edificio Álvaro Beltrán Pinzón.



Fuente: Propia

En el modelo estructural se tuvieron en cuenta las diferentes cargas que actúan sobre la terraza del edificio (Tabla 1), a saber:

- Cargas vivas aplicadas a terrazas según la tabla B.4.2.1-2 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10¹¹.
- Cargas muertas generadas por los elementos estructurales.
- Cargas permanentes ubicadas en la terraza actualmente, las cuales son generadas por la condensadora marca York.
- Cargas generadas por el peso de la viga.

¹¹ S. De La Comisión, “REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). TÍTULO B - CARGAS.”

Tabla 1: Cargas de diseño.

CARGAS DE DISEÑO PARA TERRAZA ALVARO BELTRAN			
ITEM	Carga aplicada	unidad	DESCRIPCIÓN
Carga viva terraza	5	kN/m ²	Tabla B.4.2.1-2 NSR10
Carga muerta	1.68	kN/m ²	Comprende el peso de la losa
Peso de la viga	9.65	kN	Peso de la viga + losa
Condensadora marca york	4.06	kN	Peso del condensador ubicado en la terraza

Fuente: **Propia.**

En la Fig. 8 se muestra una representación de las cargas aplicadas en el modelo estructural.

Figura 8. Cargas aplicadas en el modelo estructural.

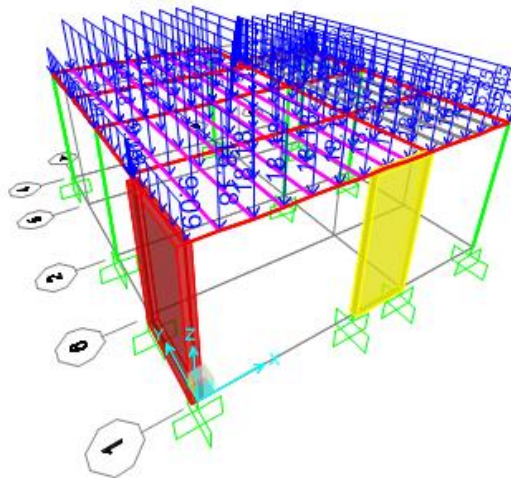
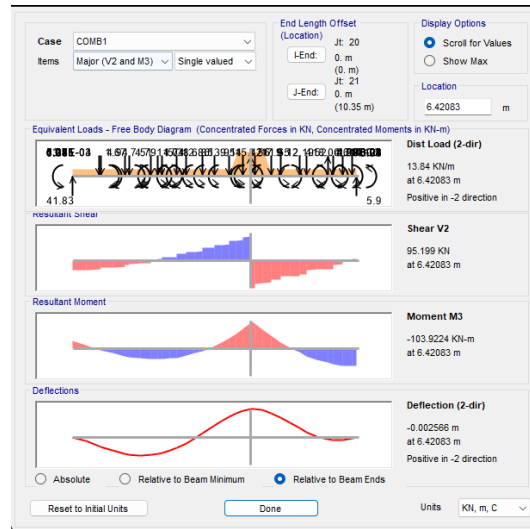


Figura: Propia.

Para una mejor visualización de la ubicación de la viga, se presenta un plano específico de la terraza nororiental del edificio Álvaro Beltrán Pinzón, en el cual se resalta que la viga-losa AASHTO está ubicada en la unión entre la viga 20K y viga 207-2 (Fig. 9).

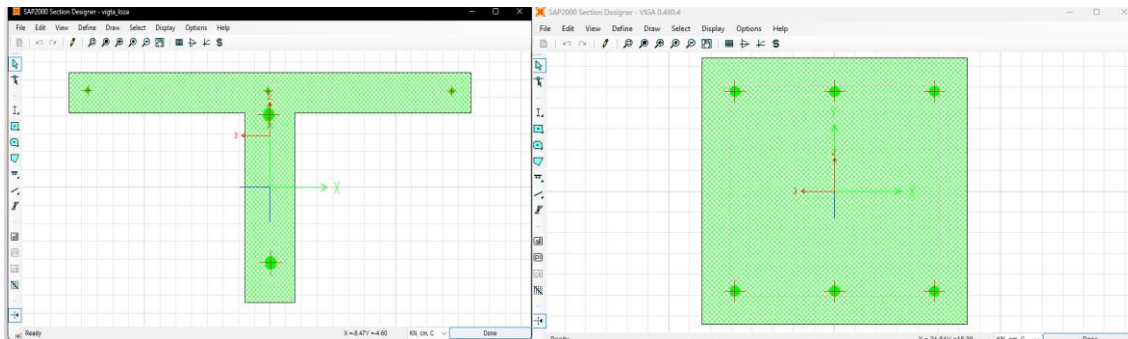
Figura 10. Cargas máximas en vigas de interés.



Fuente: Propia.

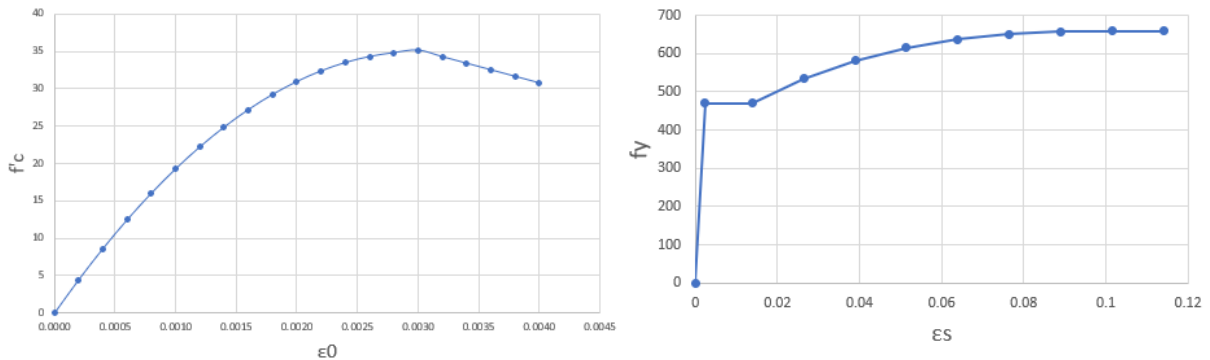
Posteriormente, se usó la herramienta “section designer” del software SAP2000 para dibujar la sección transversal de un conjunto vigueta-losa y la viga 20K (Fig. 11), con el fin de determinar la capacidad de los elementos estructurales a partir del diagrama momento-curvatura. El refuerzo estructural de la vigueta cuenta con 1 barra de acero No.7 para refuerzo a compresión y de igual manera para fuerza a tensión, la losa cuenta con barras No.3 cada 0.3 m. La viga 20K cuenta con 3 barras No.5 para el refuerzo positivo y 3 No.5 para el refuerzo negativo, para el refuerzo a cortante cuenta con estribos No.3 espaciados cada 18 cm. Las curvas esfuerzo versus deformación unitaria del concreto y del acero se muestran en la Fig. 12.

Figura 11. Modelo de sección transversal de la vigueta- losa (izquierda) y viga 20K (derecha).



Fuente: Propia.

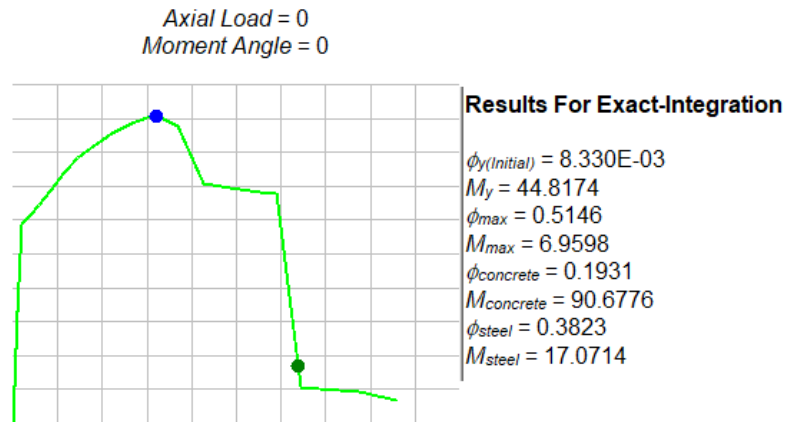
Figura 12. Curva esfuerzo versus deformación unitaria del concreto (izquierda) y del acero (derecha)



Fuente: Propia.

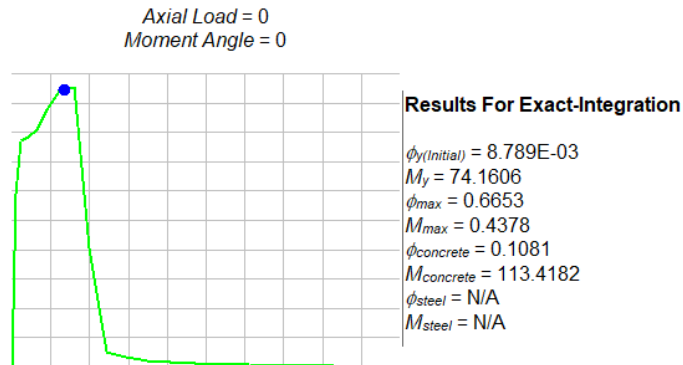
Al analizar detenidamente los diagramas momento-curvatura de la vigueta-losa (Fig. 13) y de la viga 20K (Fig. 14) se puede notar una resistencia al momento de 90.678 kN-m y de 113.4 kN-m, respectivamente. Al compararlo con el momento requerido, el cual es de 103.92 kN-m, observamos que la losa por sí misma no sería capaz de soportar las cargas establecidas. Sin embargo, la viga 20 cuenta con la resistencia suficiente para soportar estas cargas.

Figura 13. Diagrama curvatura de la vigueta-losa.
MOMENT CURVATURE ($M-\phi$) GRAPH - KN, m, C



Fuente: Propia.

Figura 14. Diagrama curvatura de la viga 20K
MOMENT CURVATURE ($M-\phi$) GRAPH - KN, m, C



Fuente: Propia.

Por último, se hicieron los chequeos de los esfuerzos a cortante para la viga 20K. Inicialmente, se espera que la viga se encuentre sometida a una fuerza cortante de 95 kN. La viga cuenta con estribos No.3 espaciados cada 18 cm. Con estos datos se calculó la capacidad máxima de la viga a cortante, dando como resultado una capacidad máxima $\Phi V_n = 190$ kN. Con este resultado se pudo corroborar que la viga 20K soporta los esfuerzos cortantes a los que se espera esté sometida.

3.1.2 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA VIGA TIPO I

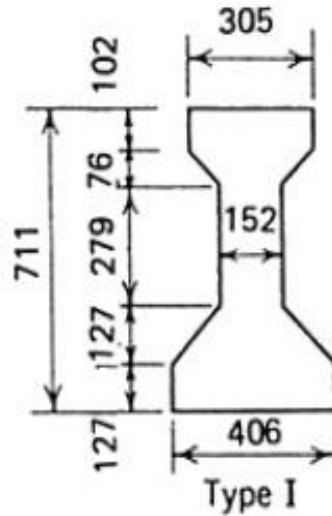
Parte del proceso de la ejecución de la pasantía de investigación es el diseño de la viga tipo I, para la cual se toma de referencia el dimensionamiento de la viga tipo AASHTO Tipo I. Los valores de las dimensiones se presentan en la siguiente tabla (Tabla 2) acompañado de su respectiva sección transversal (Fig. 15).

Tabla 2. Datos iniciales de la viga tipo I.

DATOS INICIALES	
apoyo	simplemente apoyado
Ac viga, m ² .	0.178
Ic, mm ⁴ .	9500000000
Ac losa, mm ² .	1657.5
Luz, m.	1.2
Ac losa, m ² .	0.166
Ac total, m ² .	0.344
w concreto, kN/m ² .	24
P, kN.	8.256
Nota: Ac, es el área de concreto; Ic, es el momento de inercia del centroide de la viga tipo I; w, es el peso específico del concreto, P es el peso total de la sección.	

Fuente: Propia.

Figura 15. Sección transversal viga tipo I.



Fuente: Design of prestressed concrete structures, 3ª edición.

Se asume que la viga esta simplemente apoyada y teniendo en cuenta los datos iniciales de diseño (Tabla 2), se procede a calcular el momento y cortante máximo con un factor de mayoración de 1.4 veces la carga muerta, ya que solo se tendrá en cuenta el peso propio de la viga AASHTO tipo I (Tabla 3).

Tabla 3. Momento y cortante máximo mayorado de la viga AASHTO tipo I.

Valores máximos	
V_u , kN	4.98
M_u , kN-m	-1.5

Fuente: Propia.

Para el diseño de la viga se hizo seguimiento de los requisitos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14. Dicho diseño se basó en diversas consideraciones las cuales están relacionadas con los materiales utilizados a la hora de la construcción de la viga. Una de las principales consideraciones fue asegurar que su construcción se realizara con un concreto que contara con una resistencia a compresión (f'_c) no menor a 28 MPa.

El diseño estructural de la viga se abordó desde dos perspectivas fundamentales: la flexión y la fuerza cortante. De esta manera, se siguieron los artículos 5.7 y 5.8 del CCP14, para el diseño a flexión y a cortante, respectivamente, de la viga.

En la siguiente tabla se evidencia la cantidad de refuerzo necesaria para un adecuado diseño a flexión (Tabla 4). Lo subrayado en amarillo es la cantidad de refuerzo seleccionado por diseño.

Tabla 4. Cantidad de refuerzo a flexión.

DISEÑO FLEXION											
No barra	Cantidad	As	a	c	d	mn	Fluencia	Separación			As. Agritamient
No.2	32.7	10.5	1.7	2.0	80.8	31728.8	0.1	1.0	1.0	3.8	0.2
No.3	14.8	10.5	1.7	2.0	80.6	31667.3	0.1	2.2	1.4	3.8	0.1
No.4	8.1	10.5	1.7	2.0	80.5	31603.8	0.1	3.8	1.9	3.8	0.1
No.5	5.3	10.5	1.7	2.0	80.3	31540.3	0.1	5.4	2.4	3.8	0.0

Fuente: Propia.

Por otro lado, para el diseño de la viga también se tuvo en cuenta la resistencia a los esfuerzos cortantes, el cual es un aspecto crítico para asegurar la integridad estructural de la viga. En las siguientes tablas se pueden observar el diseño a cortante de la viga AASHTO tipo I (Tabla 5) y la cantidad de refuerzo a cortante requerido por diseño (Tabla 6).

Tabla 5. Datos iniciales de la losa superior.

DISEÑO CORTANTE	
Vu, kN.	5.0
Bv, mm	15.2
Dv, mm	62.0
ΦV_c , kN.	2378.4
s grieta, mm	8.0
s grieta, mm	30.0
Smax.mm	49.6

0.125*f'c , MPa	3.5
CANTIDAD MINIMA	
Av mm2	0.29431309
s tomado	18
Nota: Vu, es la fuerza cortante ultima; Bv, es la base de viga; Dv es la distancia vertical; ΦV_c , es la resistencia cortante del concreto; s es la separación entre estribos.	

Fuente: Propia.

Tabla 6. Cantidad de refuerzo a cortante.

No barras	area cm2	diametro doblado
1/4"	0.64	25.6
3/8"	1.42	38
1/2"	2.58	50.8
5/8"	3.98	63.6

Fuente: Propia

Los resultados del diseño revelaron que la viga cumple con los requisitos de carga y resistencia especificados.

Se determinó una capacidad máxima a flexión de 31604 kN-cm, para lo cual se requieren 8 barras longitudinales No.4. Así mismo, se estableció que se debe utilizar un mínimo de 8 estribos No.2, espaciados cada 150 mm, para garantizar la resistencia a cortante.

En el diseño de la losa superior, se tuvieron en cuenta condiciones de apoyo similares a la viga AASHTO tipo I. En primer lugar, la losa cuenta con un ancho de 120 mm y una altura de 150 mm. Además, se consideró únicamente la carga por peso propio del elemento, por ende, se aplicó un factor de mayoración de 1.4 a la carga muerta, dando

como resultado un momento de 5.47 kN-m. Para comenzar con el diseño, se optó por utilizar una malla electrosoldada XX-296, siguiendo las especificaciones técnicas de GG. DIACO o un equivalente.

Tabla 7. Datos iniciales de la losa superior.

Datos iniciales losa superior	
f'c, MPa.	28
fy, MPa.	420
b, mm.	120
h, mm.	15
d, mm.	7.5
Mu, kN-m.	5.47
Diámetros	0.75
S MALLA, mm.	15
cantidad	8
Mn, kN-m.	10.74
Nota: f'c, es la resistencia a compresión del concreto; fy, es la resistencia a la fluencia del acero; b, es el ancho de la losa; h, es la altura de la losa; d, es la altura desde la parte superior de la losa hasta donde se encuentre el refuerzo transversal; Mu, es el momento ultimo mayorado; S es la distancia entre refuerzos.	

Fuente: Propia.

Esta malla proporciona a la losa una resistencia de 10.74 kN-m. dando así la resistencia necesaria para soportar el peso propio de la misma.

3.1.3 DIBUJO DEL PLANO ESTRUCTURAL DE LA VIGA TIPO I.

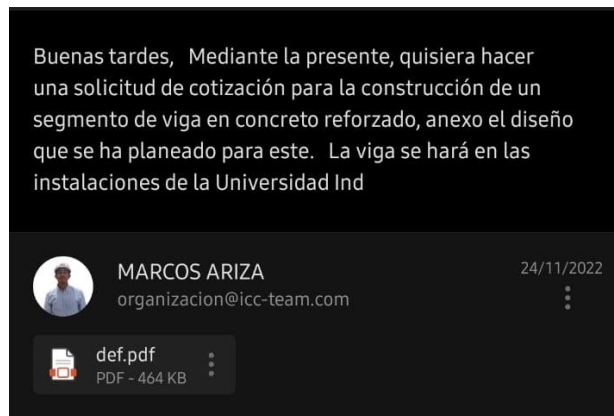
Se elaboraron los planos correspondientes a la construcción de la viga, haciendo uso del software Autodesk Revit 2022¹². Estos planos se diseñaron con el objetivo de asegurar una correcta construcción, a su vez garantizando la resistencia adecuada de la viga. Además, se incluyeron disposiciones específicas para la ubicación estratégica de refuerzos auxiliares, esto con el propósito de soportar las termocuplas.

En el plano se presentan diversas vistas con el fin de facilitar su comprensión (Anexo A), se incluyen las tablas de cantidades de refuerzo de acero y concreto requerido, así como todos los detalles que se consideran relevantes o necesarios para una correcta construcción de la viga.

3.2 FASE II

Siguiendo con las actividades de la pasantía, se enviaron a diferentes empresas constructoras de la ciudad, solicitudes de cotización para la construcción de la viga (Fig. 16). Para esto se adjuntó el plano de construcción de la viga AASHTO tipo I en donde se encuentra información necesaria para su valoración.

Figura 16. Correo de solicitud para cotización de la viga tipo I



Fuente: Propia

¹² Autodesk, R. (2023). Revit 2022. Disponible en <https://latinoamerica.autodesk.com/>

En el transcurso de la actividad, se recibieron 3 propuestas de las empresas: Peralta Ingeniería S.A.S, García Vega S.A.S y Asgard Ingeniería Y Construcción S.A.S. Cada una de estas propuestas contenían información acerca del costo, tiempo de fabricación, plazos de entrega, forma de pago y entrega final del producto como se puede observar en la Figura 17.

Figura 17. Cotización recibida por parte de Peralta Ingeniería S.A.S

CLIENTE: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 Attn:
 OBJETO: Suministro, fabricación y montaje de viga-losa tipo I AASTHO. FECHA: ENERO DE 2023 VÁLIDO HASTA: 15/02/2023

CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METALICA DE SOPORTE Y VIGA-LOSA TIPO I AASTHO SEGÚN DISEÑO ADJUNTO, UIS, BUCARAMANGA						
PRESUPUESTO GENERAL						
Id	Descripción	UN	CANT	VR. UNIT	VR. PARCIAL	
1	Estructura metálica de soporte					
1.1	Construcción de estructura metálica de soporte con perfil de canales L1-1/2X1/8. El esquema de pintura es el siguiente: Limpieza con chorro abrasivo grado comercial tipo SSP-3, esmalte alquídico anticorrosivo alquídico (1-3 mils) y esmalte alquídico (1-3 mils)	UND	1	\$ 2,016,131	\$ 2,016,131	
2	Construcción de viga-losa en concreto de 4000 psi					
2.1	Construcción de viga tipo I AASTHO y losa maciza con malla electrosoldada XX-295. Concreto de 28 Mpa	UND	1	\$ 3,648,864	\$ 3,648,864	
SUBTOTAL					\$ 5,664,994	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 5,664,994	
ADMINISTRACIÓN 20.0%					\$ 1,132,999	
IMPREVISTOS 1.0%					\$ 56,650	
UTILIDAD 5.0%					\$ 283,250	
AIU 26.0%					\$ 1,472,899	
TOTAL ANTES DE IVA					\$ 7,137,893	
IVA sobre la Utilidad 19%					\$ 53,817	

Fuente: Propia.

Dentro del proceso de elección, se tuvieron en cuenta parámetros como costo, calidad y forma de pago. Teniendo esto en cuenta, se hizo la evaluación de las 3 propuestas (Anexo B) y se identificó la propuesta que mejor se ajustaba a las necesidades del proyecto. En este caso, la propuesta de la empresa García Vega S.A.S ofrece el servicio de fabricación tanto del espécimen de concreto como su soporte en estructura metálica con las especificaciones requeridas, a un menor costo y con un pago único del 100% contra entrega.

Es importante destacar que la selección de García Vega S.A.S no fue únicamente por el costo y la forma de pago, sino también en su enfoque en la excelencia y el cumplimiento de los estándares de calidad en cada uno de sus proyectos. La decisión de elegir esta cotización representa una medida estratégica para garantizar que la viga sea construida de acuerdo con los criterios de resistencia estructural previstos y contando con los refuerzos auxiliares necesarios para soportar las termocuplas de manera eficiente. Además, la empresa constructora se encargó de adquirir los encofrados y otros equipos

necesarios para su corta ejecución, como se puede apreciar en la imagen adjunta. La viga fue construida en el lugar designado, incluyendo todos los dispositivos necesarios para su estudio y evaluación.

Figura 18. Viga tipo I construida.



Fuente: Propia.

3.3 FASE III

En esta fase final del proyecto se llevó a cabo el proceso de toma y procesamiento de imágenes termográficas utilizando la herramienta de software FLIR Thermal Studio (c) ¹³. Para ello, se seleccionó un espécimen de concreto específico (Fig. 19), el cual desempeñó un papel fundamental en esta etapa de investigación. La elección de este espécimen de concreto se realizó con el propósito de establecer una correlación precisa entre los datos obtenidos mediante las termocuplas ubicadas estratégicamente en su interior y las imágenes térmicas capturadas. De esta manera se logró analizar y comprender detalladamente el comportamiento térmico y estructural del concreto,

¹³ Teledyne, F. (2023). FLIR Thermal Studio v2022. Disponible en <https://www.flir.com.mx/products/flir-thermal-studio-suite/>

proporcionando información valiosa para la optimización del diseño e instrumentación de la viga tipo I.

Figura 19. Espécimen de concreto.



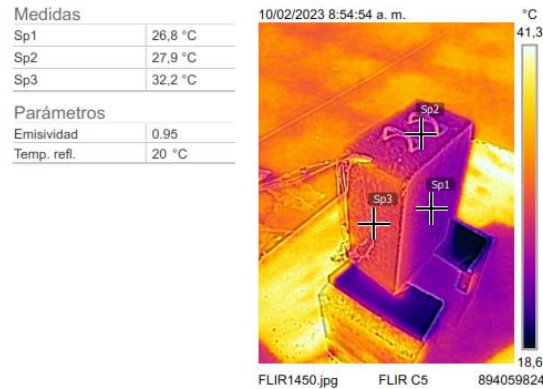
Fuente: Propia.

El proceso de captura de imágenes termográficas del espécimen se realizó con gran meticulosidad y cuidado, utilizando una cámara térmica FLIR C5 con una resolución de 5 MP. Esta cámara registró las diferencias de temperatura en la superficie del espécimen, lo que permitió visualizar y analizar los patrones térmicos presentes. Posteriormente, se utilizó el software FLIR Thermal Studio (c) para procesar y analizar las imágenes térmicas obtenidas, facilitando así la interpretación y extracción de datos relevantes.

Las imágenes térmicas se tomaron diariamente entre las 7:00 AM y las 5:00 PM, esto con un lapso de 30 minutos entre tomas. Por último, las tomas se hicieron desde una vista isométrica donde se aprecia las tres caras principales del elemento prisma en donde se podían evaluar los puntos de interés (zona central, lateral y superior del espécimen) como se puede observar en la Figura 20. Todas las imágenes procesadas fueron almacenadas mediante un documento PDF, en el cual se reportó las fotos tomadas

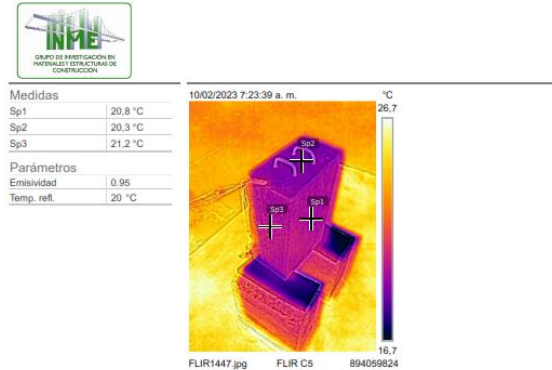
diariamente con sus valores de temperatura en los puntos seleccionados, como se puede observar en la Figura 21.

Figura 20. Foto térmica del espécimen de concreto.



Fuente: Propia

Figura 21. Reporte



Fuente: Propia

El análisis de las ilustraciones térmicas revela una concentración de temperatura en los puntos centrales del espécimen de concreto, indicando una mayor acumulación de calor en esas áreas. Este patrón se mantiene constante a lo largo del día, proporcionando información importante sobre la distribución térmica y el comportamiento estructural que se verá a lo largo del estudio de la viga. Además, permitió identificar posibles áreas críticas de acumulación de calor.

4. CONCLUSIONES

- Se identificó a la terraza nororiental del edificio Álvaro Beltrán Pinzón ubicado en la Universidad Industrial de Santander como el lugar con las condiciones adecuadas para la construcción y estudio de la viga AASHTO tipo I. Además de garantizar la exposición de dicho espécimen a la radiación solar, esta ubicación permite controlar el flujo de personal y brinda condiciones para la vigilancia de los equipos y de la viga.
- La viga 20K de la terraza del edificio Álvaro Beltrán Pinzón es la encargada de soportar el espécimen de prueba. Esta tiene una resistencia de 113.92 kN-m a la flexión y de 190 kN al esfuerzo cortante, que son suficiente para soportar las demandas generadas por la viga AASHTO tipo I, el condensador marca York y los demás elementos mencionados en la Tabla 1.
- El diseño estructural del espécimen de prueba (viga AASHTO tipo I) se realizó desde dos perspectivas fundamentales: la flexión y la fuerza cortantes, siguiendo los artículos 5.7 y 5.8 de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP14). Esto dio como resultado la incorporación de 8 barras longitudinales No.4 para la resistencia flexión y 8 estribos No.2 espaciados cada 150 mm para garantizar la resistencia a los esfuerzos cortantes. Por último, para la losa superior se debe utilizar una malla electrosoldada XX-296 o equivalente.
- Se elaboró el plano estructural de la viga AASHTO tipo I mediante el software Autodesk Revit 2022. El propósito de esto fue garantizar la construcción precisa, brindando las dimensiones y detalles esenciales para la misma. Los planos también incluyen disposiciones específicas para la ubicación de los refuerzos auxiliares que soportan las termocuplas que se usarán para medir la temperatura interna de la viga.
- De la gestión de cotizaciones, materiales y procesos contractuales, se tomaron en cuenta tres cotizaciones para la construcción de la viga tipo I. De estas se eligió la mejor propuesta, considerando parámetros como costo, calidad y forma de pago. Si bien todas las propuestas demostraron ser competentes, la propuesta de

la firma García Vega S.A.S se destacó por ofrecer una solución integral que cumplía con las especificaciones del proyecto a un costo significativamente menor que las alternativas. Además, su propuesta incluyó un pago único del 100% contra entrega, lo que simplificó el proceso financiero y redujo la carga administrativa.

- A partir de la toma de imágenes térmicas y su procesamiento mediante el software FLIR Thermal Studio (c) se logró identificar un aumento del 26% en la temperatura en las zonas centrales en comparación con las zonas laterales del espécimen monitoreado (bloque prismático de concreto reforzado) durante el periodo de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

E. Castell, "NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES - LRFD - CCP14," 2014.

Hernan David Menses Real, "Temperatura superficial in situ en el puente vehicular de la avenida américas Boyacá y el puente intercambiador vial el tizón.," PROYECTO DE INVESTIGACION, pp. 1–112, 2020.

M. Martin and K. Lukas, "Thermal effects on box girder concrete bridges," in Key Engineering Materials, Trans Tech Publications Ltd, 2017, pp. 273–283. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.738.273.

T. Hossain, S. Segura, and A. M. Okeil, "Structural effects of temperature gradient on a continuous prestressed concrete girder bridge: analysis and field measurements," Structure and Infrastructure Engineering, vol. 16, no. 11, pp. 1539–1550, Nov. 2020, doi: 10.1080/15732479.2020.1713167.

S. R. Abid and M. Özakça, "Temperature records in concrete box-girder segment subjected to solar radiation and air temperature changes," in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Institute of Physics Publishing, Jul. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/870/1/012074.

B. Gu, F. Y. Zhou, W. Gao, F. Z. Xie, and L. H. Lei, "Temperature Gradient and Its Effect on Long-Span Prestressed Concrete Box Girder Bridge," Advances in Civil Engineering, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/5956264.

C. BALLESTEROS, "Análisis numérico de los gradientes térmicos por cargas de temperatura de concreto reforzado," universidad Antonio Nariño, pp. 1–99, 2022, Accessed: Dec. 21, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6735>.

M. A. Lara and Y. R. Gaspar, "TERMOCUPLAS: UNA ALTERNATIVA PARA LA MEDICION DE TEMPERATURAS," 2000.

Grupo Compre, "Vigas AASHTO - Grupo Compre," 2022.

S. De La Comisión, "REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10). TÍTULO B - CARGAS."

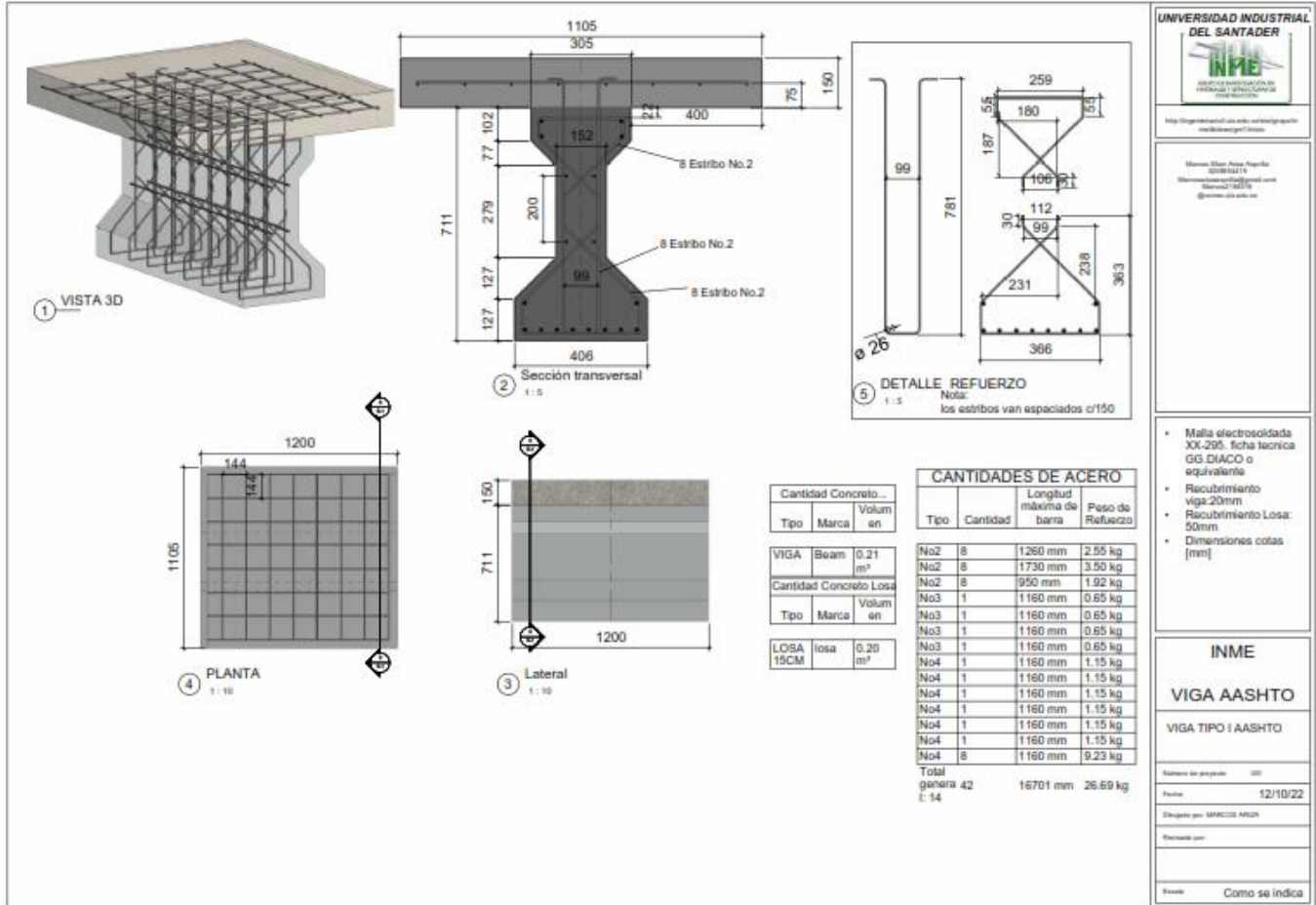
Habibullah, A. (2020). SAP2000 v20. Disponible en <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000>.

Teledyne, F. (2023). FLIR Thermal Studio v2022. Disponible en <https://www.flir.com.mx/products/flir-thermal-studio-suite/>.

Autodesk, R. (2023). Revit 2022. Disponible en <https://latinoamerica.autodesk.com/>.

ANEXOS

Anexo A. Plano estructural de la viga tipo I.



Fuente: Propia.

Anexo B. Evaluación de cotizaciones.

Evaluación de cotizaciones recibidas						
Descripción del producto requerido						
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación de viga AASHTO TIPO I incluyendo suministro de materiales, mano de obra, equipos y herramientas para viga/placa en concreto 4000psi • Estructura metálica incluyendo materiales, fabricación y montaje. 						
Cotizaciones solicitadas y recibidas						
N°	Empresa	Fechas de cotización	Subtotal	IVA	Total	Verificación de cumplimiento
1	GARCÍA VEGA S.A.S	06/03/2023	\$6.454.605	\$1.22.375	\$7.680.980	Cumple
2	ASGARD INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S	06/03/2023	\$7.500.000	\$1.425.000	\$8.925.000	Cumple
3	PERALTA INGENIERÍA S.A.S	27/02/2023	\$7.137.893	\$1.356.200	\$8.494.093	Cumple
Cotización seleccionada		1	Nombre o razón social		GARCÍA VEGA S.A.S	
Justificación de la selección						
<p>Dentro de las tres cotizaciones que se evaluaron la empresa GARCÍA VEGA S.A.S ofrece el servicio de fabricación de la viga tipo I y su estructura de soporte en perfiles metálicos con las especificaciones de calidad requerida, además ofrece un costo menor y un pago único del 100% contra entrega.</p>						

Fuente: Proyecto VIE-UIS 2823.