

PLAN DE MEJORAMIENTO VIAL, SECTOR VÍA ANTIGUA AL LLANO KM 83+300



JUAN FERNANDO CAMACHO HENAO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

PLAN DE MEJORAMIENTO VIAL, SECTOR VÍA ANTIGUA AL LLANO KM 83+300

JUAN FERNANDO CAMACHO HENAO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Mg. GERMAN ERNESTO CHICANGANA MONTON

Magister en Ciencias en Geología

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Fray Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio CORTES GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Ing. LUIS FERNANDO DIAZ CRUZ MSc

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Con profundo agradecimiento, este trabajo lo dedico primeramente a Dios, quien ha sido ese ser supremo que me da la vida, la salud y la motivación para sacar este proyecto adelante. A mi mamá quien es mi eje de vida, ha estado ahí constante apoyándome y no dejándome decaer. A mi hermano David, mi compañero de vida, mi consejero quien ha estado en los momentos difíciles.

Agradecimientos

Aprovecho este apartado de la tesis para agradecer profundamente al Ing. German Chicangana, quien ha sido mi mentor durante el tiempo de elaboración de este trabajo de grado, también a la Ingeniera Jessica, quien me asesoró en el documento, dándome sus puntos de vista profesionales para un excelente trabajo de grado.

Y a todos los docentes de la facultad, quienes estuve en sus aulas de clase aprendiendo y forjándome como profesional, de cada uno aprendí la responsabilidad el respeto y la dedicación hacia esta bonita profesión.

Contenido

	Pág.
_Toc164185062	
Resumen	13
Abstract.....	14
Introducción.....	15
1. Formulación del problema	16
2. Justificación	17
3. Objetivos	18
4.1 Objetivo general.....	18
4.2 Objetivos específicos	18
4. Alcance	19
5.1. Localización del proyecto	19
6. Fundamentación teórica y científica	21
6.1. Movimientos en masa	21
6.2. Caídas o desprendimientos	21
6.3. Flujo libre y flujo detrítico.....	21
6.4. Deslizamiento	22
6.4.1 Deslizamientos traslacionales.	22
6.4.2 Deslizamientos rotacionales.....	22
6.4.3 Deslizamientos rápidos.	22
6.4.4 Deslizamientos lentos.	22
6.4.5 Factores internos de un deslizamiento.	23
6.4.6 Factores externos para el deslizamiento	23
7 Marco conceptual.....	26
8 Marco geográfico	27
9 Marco normativo.....	28
10 Estado del arte	30
11 Metodología	31
11.1. Recolección de información	31

11.2.	Análisis hidrometereológico	31
11.3.	Mapas como reconocimiento de las obras realizadas	32
11.4.	Análisis de los resultados.....	32
11.5.	Zonificación de la amenaza	32
11.6.	Propuesta de un puente como alternativa de solución de ingeniería	32
12.	Desarrollo metodológico.....	33
12.1.	Composición geológica del sector	33
12.1.1	Formación Areniscas de Gutiérrez.....	34
12.1.2	Formación Lutitas de Pipiral.....	34
12.1.3	Formación Capas Rojas del Guatiquía.....	35
12.1.4	Terrazas y coluviones	37
12.2.	Geología estructural	38
12.2.1	Falla de Pipiral	38
12.2.2	Falla la Reforma.....	38
12.3.	Suelos	39
12.3.1	Entisoles.....	39
12.3.2	Pendiente.....	40
13.	Análisis de datos	42
13.1.	Cobertura vegetal	42
13.2.	Clima y precipitación.....	43
14.	Diseño de un puente como alternativa solución de ingeniería.....	46
14.1.	Proceso constructivo	48
14.2.	Materiales para su construcción.....	48
14.2.1	Concreto estructural	48
14.2.2	Acero de refuerzo.....	49
14.2.3	Acero estructural.....	49
14.3.	Cargas de la estructura	49
14.3.1	Cargas muertas.....	49
14.3.2	Cargas vivas	50
	Tabla 11 Continuación.....	51
14.3.3	Cargas	51

14.3.4	Cargas de sismo (E_x , E_y).....	51
14.3.5	Valor para S_s	53
14.3.6	Valor para S_1	54
14.3.7	Valor para factor de sitio para periodo cero (F_{pga}).....	56
14.3.8	Factor de sitio para periodo corto (F_a).....	56
14.3.9	Factor de sitio para periodo largo (F_v)	57
14.3.10	Diseño del espectro de diseño.....	57
14.4	Combinaciones de carga	58
14.4.1	Combinaciones de servicio	58
14.4.2	Nomenclatura de cargas	59
14.5	Análisis estructural del diseño	59
14.5.1	Periodos y modos de vibración	60
14.5.2	Chequeo de las deformaciones del puente	63
14.6	Diseño de la cimentación del puente	64
14.6.1	Geometría de la Pila 1.....	65
14.7	Diseño de los elementos estructurales	67
14.7.1	Geometría de la losa.....	67
14.7.2	Área de los elementos	67
14.7.3	Cargas de servicio y de diseño.....	71
14.7.4	Verificación requisitos de constructibilidad	72
14.7.5	Verificación de los refuerzos en la losa	73
14.7.6	Diseño de las conexiones de la viga	77
14.7.7	Capacidades y uso de las conexiones.....	77
14.7.8	Barandas y pasamanos	78
14.7.9	Neoprenos	78
Conclusiones.....		79
Referencias bibliográficas		81

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Normatividad del proyecto</i>	28
Tabla 2 <i>Resultados, correspondiendo a los objetivos planteados</i>	33
Tabla 3 <i>Pendientes mostradas en la figura 10 según porcentaje y ángulo de inclinación clasificación baja</i>	41
Tabla 4 <i>Datos Hidrometereológicos</i>	43
Tabla 5 <i>Balance hídrico Estación Servitá</i>	43
Tabla 6 <i>Actividades constructivas</i>	48
Tabla 7 <i>Especificación del tipo de concreto estructural</i>	48
Tabla 8 <i>Especificaciones técnicas del acero de refuerzo</i>	49
Tabla 9 <i>Especificaciones técnicas acero estructural</i>	49
Tabla 10 <i>Tipos de cargas y peso estructural</i>	50
Tabla 11 <i>Configuración cargas vivas, disposición de las cargas vehiculares para camión</i>	50
Tabla 12 <i>Definición de los tipos de perfil de suelo</i>	55
Tabla 13 <i>Valor para factor de sitio para periodo cero (F_{pga})</i>	56
Tabla 14 <i>Factor de sitio para periodo corto (F_a)</i>	56
Tabla 15 <i>Factor de sitio para periodo largo (F_v)</i>	57
Tabla 16 <i>Valores del espectro de diseño</i>	57
Tabla 17 <i>Valor periodos espectro de diseño</i>	58
Tabla 18 <i>Combinación de cargas de diseño</i>	58
Tabla 19 <i>Nomenclatura de cargas</i>	59
Tabla 20 <i>Periodos y modos de vibración de la estructura</i>	60
Tabla 21 <i>Cargas de la estructura con sus respectivos momentos</i>	64
Tabla 22 <i>Área de los elementos estructurales</i>	67
Tabla 23 <i>Inercia de las estructuras</i>	68
Tabla 24 <i>Inercia de la losa</i>	68
Tabla 25 <i>Geometría de la losa</i>	68
Tabla 26 <i>Geometría del mortero</i>	69
Tabla 27 <i>Momentos y cortantes de la losa</i>	69
Tabla 28 <i>Geometría viga metálica</i>	69

Tabla 29 <i>Geometría del bordillo.....</i>	70
Tabla 30 <i>Geometría sistema estructural de las barandas de seguridad.....</i>	70
Tabla 31 <i>Geometría capa de rodadura.....</i>	70
Tabla 32 <i>Geometría de los elementos</i>	70
Tabla 33 <i>Factor carril.....</i>	70
Tabla 34 <i>Cargas de servicio</i>	71
Tabla 35 <i>Cargas de diseño.....</i>	71
Tabla 36 <i>Cargas 1 etapa constructiva</i>	71
Tabla 37 <i>Cargas 2 etapa constructiva</i>	71
Tabla 38 <i>Viga con las cargas superimpuestas.....</i>	72
Tabla 39 <i>Verificación de los requisitos de constructibilidad</i>	72
Tabla 40 <i>Momentos de la estructura.....</i>	76
Tabla 41 <i>Resistencias mínimas de la viga y la platina</i>	77
Tabla 42 <i>Resistencia de los pernos, platina y soldadura.....</i>	78
Tabla 43 <i>Resistencia del alma</i>	78
Tabla 44 <i>Cargas de baranda</i>	78

Lista de Figuras

Figura 1 Localización general del sector de estudio, imágenes satelitales tomadas de Google Earth, (2024).....	19
Figura 2 Mapa ampliación de la ubicación de la zona de estudio Km 83+300.....	20
Figura 3 Mapa detallado geografía zona de estudio	27
Figura 4 Mapa geológico de la zona de estudio.....	34
Figura 5 Geomorfología de la región de estudio.....	35
Figura 6 Afloramiento de limolitas color rojo relacionadas con la Formación Capas Rojas del Guatiquia, km 83 + 4000, carretera Bogotá Villavicencio, sector vía antigua.	36
Figura 7 Paisaje geomorfológico de la Formación Capas Rojas del Guatiquia. Tomado de Diaz et al. (2013).....	36
Figura 8 Aspecto de un antiguo deslizamiento conformado por material de procedencia coluvial.....	37
Figura 9 Coluvión km 83+320.....	38
Figura 10 Mapa de pendientes de la zona de estudio a partir de un modelo ráster.....	40
Figura 11 Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.....	42
Figura 12 Precipitaciones anuales estación Servitá.....	44
Figura 13 Precipitaciones anuales estación Acueducto Esmeralda (Villavicencio).	44
Figura 14 Temperatura anual de la zona de estudio, Tomado de (IDEAM, 2023).	45
Figura 15 Ubicación del puente km 83+300.	46
Figura 16 Foto panorámica de la proyección de la estructura y estado actual de la vía km 83+300.....	47
Figura 17 Tabla de valores PGA. Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).....	52
Figura 18 Valores para Ss. Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).....	53
Figura 19 Valores que toma S ₁ . Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).....	54
Figura 20 Espectro de diseño.....	58
Figura 21 Plano isométrico del diseño del puente a través del programa de elementos finitos SAP 2000.....	60
Figura 22 Modo 1 de vibración de la estructura	62
Figura 23 Modo 2 de vibración de la estructura	62

Figura 24 <i>Modo 3 de vibración de la estructura</i>	63
Figura 25 <i>Desplazamientos en la estructura</i>	63
Figura 26 <i>Isométrico del puente con las pilas de cimentación</i>	64
Figura 27 <i>Geometría de la pila de cimentación</i>	65
Figura 28 <i>Diagrama de momento y cortante de la Pila 1</i>	65
Figura 29 <i>Diagrama de interacción de la Pila 1 del puente</i>	66
Figura 30 <i>Modelo estructural del puente</i>	67
Figura 31 <i>Modelación estructural de la losa</i>	73
Figura 32 <i>Esfuerzo F_{11} (N/mm), Esfuerzo F_{22} (kN/m) y Esfuerzo F_{12} (kN/m)</i>	74
Figura 33 <i>Esfuerzo M_{11}(kN-m/m) y Esfuerzo M_{22}(kN-m/m)</i>	74
Figura 34 <i>Esfuerzo V_{13}(kN/m) y Esfuerzo V_{23}(kN/m)</i>	76
Figura 35 <i>Detalle conexión viga armada</i>	77

Resumen

La *entrada al llano* deriva de la cordillera oriental, que ha sufrido grandes problemas de estabilidad debido a las lluvias, perforación de la montaña por los túneles y nuevos trazados viales en la doble calzada. Convirtiendo esta vía es una de las más importantes en cuanto a transporte de parte de la economía que llega a la capital del país.

El sitio “Rompe Ejes” está ubicado en la abscisa 83+300. Es un lugar ubicado dentro de la geografía del Departamento del Meta, que ha sido bastante vulnerado por ser susceptible a las continuas lluvias y actividad sísmica. Las altas precipitaciones dan un origen atrás en el año 2017, con la llegada del famoso “fenómeno del niño” ocurrido en los meses de finales de abril, mayo y junio. Ocasionando múltiples daños económicos a la región y al municipio de Villavicencio.

Con los fenómenos mencionados anteriormente, se desencadenó fenómenos de remoción en masa en el sector Rompe Ejes (km 83+300), que han sido estudiados y graficados en mapas que muestran el tipo de suelo, geomorfología, pendiente del terreno, geotecnia, geología entre otros. Y así mismo con ayuda de esta información, proponer soluciones en materia de ingeniería.

Con el material investigado en el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) analizó la composición topográfica de las zonas, mediante mapas debidamente georreferenciados, para analizar el tipo de suelo en el que se diseñará la estructura. Este sector también ha sido fuertemente golpeado por el desbancamiento de la calzada, reduciendo su espacio para transitar a un solo carril, lo cual minimiza el paso de vehículos, reducido a solo vehículos particulares y servicio especial de campero, que comunica la vereda de Pipiral con el municipio de Villavicencio. Este puente que cuenta con una luz de 35m abarcará el desbancamiento de la vía y tendrá como finalidad un paso seguro, con su cimentación y análisis de cargas. Es una zona compleja, porque alrededor a la zona cuenta con fallas geológicas activas que producen actividad sísmica.

Palabras Clave: *Cordillera Oriental, Economía, Estabilidad de taludes, Geotecnia, Puente, Topografía, Villavicencio.*

Abstract

The entry to the plain derives from the Eastern Mountain Range, which has experienced significant stability problems due to rainfall, mountain drilling through tunnels, and new road layouts on the dual carriageway. Converting this route is one of the most important in terms of transportation for the economy that reaches the capital of the country.

The site "Rompe Ejes" is located at abscissa 83+300. It is a place located within the geography of the Meta Department, which has been greatly affected due to its susceptibility to continuous rainfall and seismic activity. The high precipitation dates to 2017, with the arrival of the famous "El Niño" phenomenon that occurred in the months of late April, May, and June. Causing multiple economic damages to the region and the municipality of Villavicencio. With the phenomena, mass removal phenomena were triggered in the Rompe Ejes sector (km 83+300), which have been studied and graphed on maps showing soil type, geomorphology, terrain slope, geotechnics, geology, among others. And likewise, with the help of this information, propose engineering solutions. With the researched material at IGAC (Agustín Codazzi Geographic Institute), the topographic composition of the areas was analyzed using duly georeferenced maps to assess the type of soil on which the structure will be designed. This sector has also been heavily affected by road embankment, reducing its space to a single lane, which minimizes vehicle passage, restricted only to private vehicles and special camper services, connecting the Pipiral village with the municipality of Villavicencio. This bridge, which spans 35m, will encompass the road embankment and will aim to provide a safe passage, with its foundation and load analysis. It is a complex area because adjacent to the zone, there are active geological faults that generate seismic activity.

Keywords: Eastern Mountain Range, economy, slope stability, geotechnics, bridge, topography, Villavicencio.

Introducción

El km 83+300 es un tramo de la vía entre Bogotá y Villavicencio que ha sido fuertemente golpeado por los fenómenos de remoción en masa, al estar ubicado en una zona de falla, lo que genera el desprendimiento de material rocoso que al contacto con agentes climático taponan la vía por completo, y en otras ocasiones genera desprendimientos de la bancada como consecuencia de la inestabilidad del talud.

Es por eso por lo que se propone la construcción del puente como alternativa de mejoramiento vial, que mitigue el impacto que genera las condiciones climáticas en la cordillera, y se le dé un mejor tratamiento a la movilidad vial que se presenta en la parte alta de Villavicencio. Con el diseño de esta estructura se le dará un tratamiento al suelo de tal manera que su probabilidad de interferir en el tráfico de vehículos sea un reducida, logrando que las personas que se desplazan hacia el municipio de Villavicencio transiten de manera segura y no con contratiempos. También que las personas que trabajan o viven en las distintas veredas tengan un acceso seguro.

1. Formulación del problema

Esta vía ha sido constantemente afectada, ya que su estabilidad se ve alterada por la continua infiltración del agua producto de la lluvia, ya que, al ser una vía ubicada en una parte alta y montañosa, el fenómeno de precipitación ocurra de manera más fuerte que en algunas otras zonas del municipio, produciendo se presenten movimientos de remoción en masa, que afectan la transitabilidad de vehículos provenientes de la capital del país. A pesar de los continuos trabajos de rehabilitación vial, se siguen presentando comportamientos que contrastan por completo a las soluciones planteadas.

Pineda y Sabogal (2019) indican que en el km 83 +300 presenta un desplazamiento constante del terreno derivado de un gran fenómeno de remoción de masa cuya velocidad de desplazamiento es de 6 mm al año.

2. Justificación

El diseño del viaducto sobre esta zona se propone como una solución a la problemática vial, en la que se ve afectado cuando se presentan las temporadas de lluvias, pero ¿Por qué realizar este diseño? La Orinoquía se ha caracterizado por ser una de las regiones que más aporta a la economía del país y a la comunidad internacional. Con un 80% en exportaciones hacia el exterior, en materia agrícola y animal, logrando así posicionarse en un porcentaje del 92% del total en las ventas internacionales.

Legis Comex (2006) señala que la movilidad, aporta a que los productos puedan desplazarse desde dicha región hasta la capital del país para su posterior distribución. Tener infraestructura en óptimo estado, ocasiona que los productos no se retrasen hasta su destino y logre seguir manteniendo un precio comercial estable. En múltiples vías del país las condiciones viales en mal estado han ocasionado que la mercancía se vea retrasada y aumente proporcionalmente su precio, logrando que se acerque aún más a la solución definitiva ante la formulación de la problemática. En materia social y económica para los habitantes del sector, es una solución muy viable, ya que esta ruta al llano representa intereses económicos para ellos, en cuanto a turismo y transporte.

3. Objetivos

4.1 Objetivo general

Realizar el diseño de un puente como plan de mejoramiento vial para el sector de la vía antigua al llano km 83+300.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar las zonas estables del tramo en estudio a través de un análisis geológico.
- Realizar un análisis temporal hidrometereológico en la zona objeto de estudio.

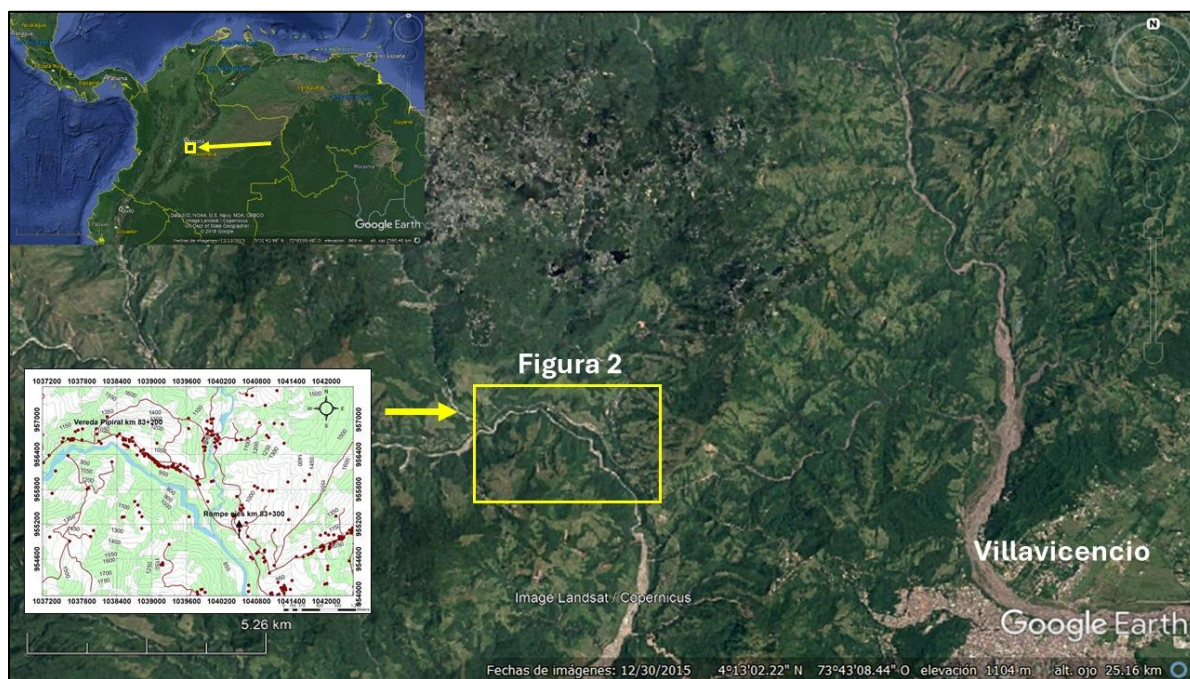
4. Alcance

5.1. Localización del proyecto

El desarrollo principal de esta investigación se llevó a cabo en la abscisa km 83+300 sobre la vía antigua que conecta Bogotá con Villavicencio. Esta zona (Figura 1) está ubicada sobre el Piedemonte Llanero, sobre la Cordillera Oriental de Colombia, con alturas entre los 900 y 1000 msnm. Mapa a escala 1:10,000 que indica geográficamente la zona de estudio. Imágenes satelitales adaptada de (Google Earth, 2024).

Figura 1

Localización general del sector de estudio, imágenes satelitales



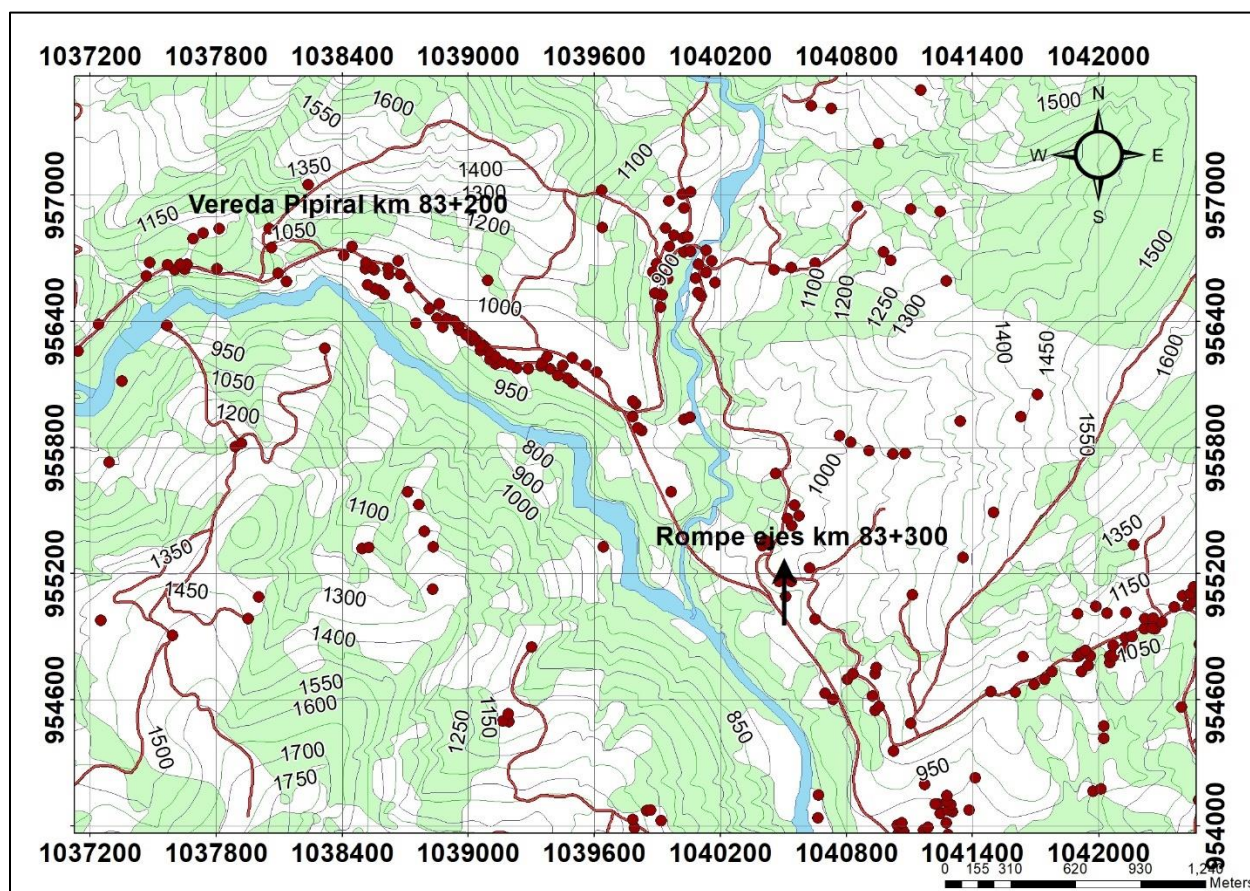
Nota. Adaptado de de Google Earth, (2024)

Con la toma y lectura de datos y realizando el debido cálculo con respecto a las coordenadas geográficas, podemos resolver que la luz del puente, con el cual se pretende instalar en la zona afectada es de 35m en su geometría que es el total de la longitud medida del desprendimiento de la bancada. Abarcando el área afectada, que fue el deslizamiento de la bancada de la calzada. En la zona de mejoramiento, véase (Figura 2), contiene más a detalle las construcciones tipo vivienda

familiar, drenajes y delineamientos geométricos viales, a escala 1:10,000 y las etiquetas de las curvas de nivel. Datos abiertos tomados del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2023).

Figura 2

Mapa ampliación de la ubicación de la zona de estudio Km 83+300.



6. Fundamentación teórica y científica

6.1. Movimientos en masa

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgos (2023) lo define como el proceso por el cual el volumen del material constituido por roca, suelo y tierra. Se desplaza ladera por acción de la gravedad. Conocidos popularmente también por el nombre de deslizamientos, derrumbes y procesos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas.

6.2. Caídas o desprendimientos

Según Pineda y Sabogal (2019), es el tipo de movimiento en masa, que se da en superficies ortogonales o en donde su pendiente es muy pronunciada y el material que compone la montaña, cae al vacío en forma de caída libre o rodando. Si su ángulo de caída está entre los 73° y 74° el impacto será más fuerte, dando paso a una posible fractura de la masa del suelo.

6.3. Flujo libre y flujo detrito

Su nombre alude a que este tipo de movimiento se comporta dada la redundancia como un flujo, donde el material que arrastra interactúa con materiales cohesivos y se desparraman por la ladera.

El flujo detrito, es un movimiento de rapidez donde se ve incluido parte del suelo ya perdido (material orgánico, aire y agua) corren cuesta abajo. De ese material, menos del 55% corresponde a material fino. Este tipo de flujo se ve fomentado por la acción del agua, el suelo se satura de material líquido, perdiendo su forma original dando paso a la erosión y por ende este se desplaza (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4. Deslizamiento

Según Pineda y Sabogal (2019) es el tipo de proceso de remoción en masa el cual ha tenido trayectoria desde hace años atrás y hasta hoy en día se ha visto reflejado en distintas montañas del mundo. El efecto de dicho proceso tiene consecuencias terribles si a su alrededor se encuentran viviendas u otros tipos de estructuras.

Existen diferentes tipos de deslizamientos tales como: Deslizamientos Traslacionales, rotacionales, rápidos y lentos.

6.4.1 Deslizamientos traslacionales.

Tipo de movimiento en masa está dado a lo largo de la superficie en el que se encuentra la falla ondulada o plana. Este tipo suele ser más superficial a diferencia de los rotacionales. Si este tipo de deslizamiento ocurre en un solo plano, es un tipo planar. Si ocurre en dos planos discontinuados, es uno de tipo cuña y varían su velocidad (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.2 Deslizamientos rotacionales.

En este tipo, la falla se mueve a lo largo de su superficie y esta puede ser una cóncava o curva. Y a diferencia de los traslacionales tiene una velocidad en intervalos rápidos y lentos menores a 1m/s (Pineda y Sabogal, 2019)

6.4.3 Deslizamientos rápidos.

Son los producidos en terrenos con pendientes pronunciadas, conllevando a que el material lleve demasiada fuerza (Pineda y Sabogal, 2019)

6.4.4 Deslizamientos lentos.

Las capas del terreno superficial se mueven de manera lenta y el impacto que genera en las estructuras es mínimo (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.5 Factores internos de un deslizamiento.

Son aquellos donde por interno se refiere a las características geológicas y mecánicas del suelo. Dentro de estas incluyen el tipo de roca, ángulo de fricción interna (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.5.1. Tipo de roca como factor interno de un deslizamiento. Si el talud está compuesto por diferentes tipos de roca, su comportamiento geotécnico, será diferente según cada tipo de material (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.5.2. Ángulo de fricción interna. Las partículas que conforman el suelo afectan la cohesión del cuerpo en general del suelo. Esto por la acción de juntarse entre sí y generar algún tipo de fricción interna y/o resistencia al cizallamiento y este mismo está determinado por la forma de las partículas y el grado que se tocan. El ángulo de la fricción interna representa el ángulo de contacto de las partículas del suelo. Cuanto más sea menor el rozamiento, mayor será su capacidad de deslizamiento, comúnmente en materiales arcillosos y rocas con elevado contenido de caolín, producto de la descomposición de las rocas feldespáticas.

Factores externos de un deslizamiento. Aquellos en el que influyen agentes externos. Y pueden ser: La actividad sísmica, la pendiente del terreno, las condiciones climáticas, la deforestación, la meteorización y la erosión (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.6 Factores externos para el deslizamiento

6.4.6.1. Actividad sísmica. La reactivación de las fallas presentes en la zona es el resultado de los movimientos sísmicos. Procesos como la licuefacción (conversión de un gas en líquido por compresión a muy bajas temperaturas) conducen a tipos de deslizamiento sísmicos (Pineda y Sabogal, 2019)

6.4.6.2. Pendiente del terreno. Si existen pendientes en las laderas de mínimo 1%, será suficiente para permitir que corra el lodo de manera libre (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.6.3. Condiciones climáticas. La precipitación es una condición que influye directamente en estos casos, ya que eleva el nivel freático y flujo por el terreno. Ocasionando que la resistencia al corte de los materiales se vea disminuida. Se piensa que gran parte de los deslizamientos son provocados por las condiciones hidrometereológicas a las que se ven sometidos (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.6.4. La deforestación. Ante la ausencia de capa vegetal, el proceso de deslizamiento será aún mayor. Puesto a que la capa vegetal funciona como componente de estabilidad del terreno por la presencia de raíces de los árboles, quienes actúan directamente en el talud (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.6.5. La meteorización. Es el fenómeno de descomposición de las rocas presentes en la zona. Ocasionado por la desintegración mecánico-química. Al ser formadas a altas temperaturas y presiones altas profundas, el contacto con temperaturas y presiones bajas, ocasionan esta descomposición (Pineda y Sabogal, 2019).

6.4.6.6. Erosión. Proceso en el cual las partículas del suelo son arrastradas, producto del agua y el viento. La erosión ocurrida en la base de la ladera ocasiona perdida en el material, logrando disminución en la resistencia (Pineda y Sabogal, 2019).

Teniendo en cuenta los datos suministrados según los tipos de deslizamientos, incurre que debido a las altas precipitaciones que se presentan en esta parte alta del municipio, ocurre infiltración en la capa vegetal y con la continua presión de las cargas provenientes de los vehículos tanto de carga pesada como livianos, lograron que se deformara el talud que soporta la bancada de la vía por donde se comunica el municipio con la vereda de Servitá, usualmente los suelos se vuelven con poca capacidad de cohesión, sus partículas internas no tienen la fuerza suficiente para estar unidas entre sí. A eso se le suma que el material se evidencia que está bastante erosionado, rocas en mal estado, lo que común mente llamamos como material coluvionar, arrastrado por el agua y el viento. Entonces, cuando el material del terraplén llega a su máxima condición de soporte, falla de manera instantánea por acción de la fuerza de gravedad que ejerce sobre en el mismo provocando el desprendimiento de la bancada, arrasando con gravas, pedazos de árbol y

otros materiales que se encuentren en la superficie del terraplén. Es por esto que el diseño de la cimentación del puente será lo suficientemente estable para que se soporte y evite deslizarse. Los estudios geotécnicos consultados, evidencian que paralelo a la zona de afectación, la cimentación del viaducto de Pipiral, asciende hasta los 30m de profundidad, debido al tipo de roca y nivel freático que presenta, el nivel freático es un factor importante a la hora del diseño, ya que es una medida por donde transcurre el agua por el suelo y puede afectar las estructuras verticales del puente.

7 Marco conceptual

Según Pineda y Sabogal (2019), las zonas tropicales usualmente suelen ser muy susceptibles a sufrir fenómenos de remoción en masa ya que en estos fenómenos influyen una cantidad de factores que provoquen deslizamientos, estos factores son: Lluvias intensas, topografía, actividad sísmica que presente el lugar si es alta, media o baja y la meteorización. Estos factores deben tenerse muy en cuenta a la hora de planificar un diseño y elaborar una esquematización de las zonas que están en amenaza. La palabra amenaza, parte de un principio y es la alta peligrosidad que está ahí incurriendo en la zona afectada, peligrosidad de origen natural y también por acción humana de manera accidental, que es capaz de afectar la infraestructura existente, afectar la vida e integridad humana. Pero esto puede lograr una mitigación en un alto porcentaje, si se toman los correctivos necesarios, junto a las diferentes técnicas de conservación que sean previamente autorizadas y elaboradas de manera correcta.

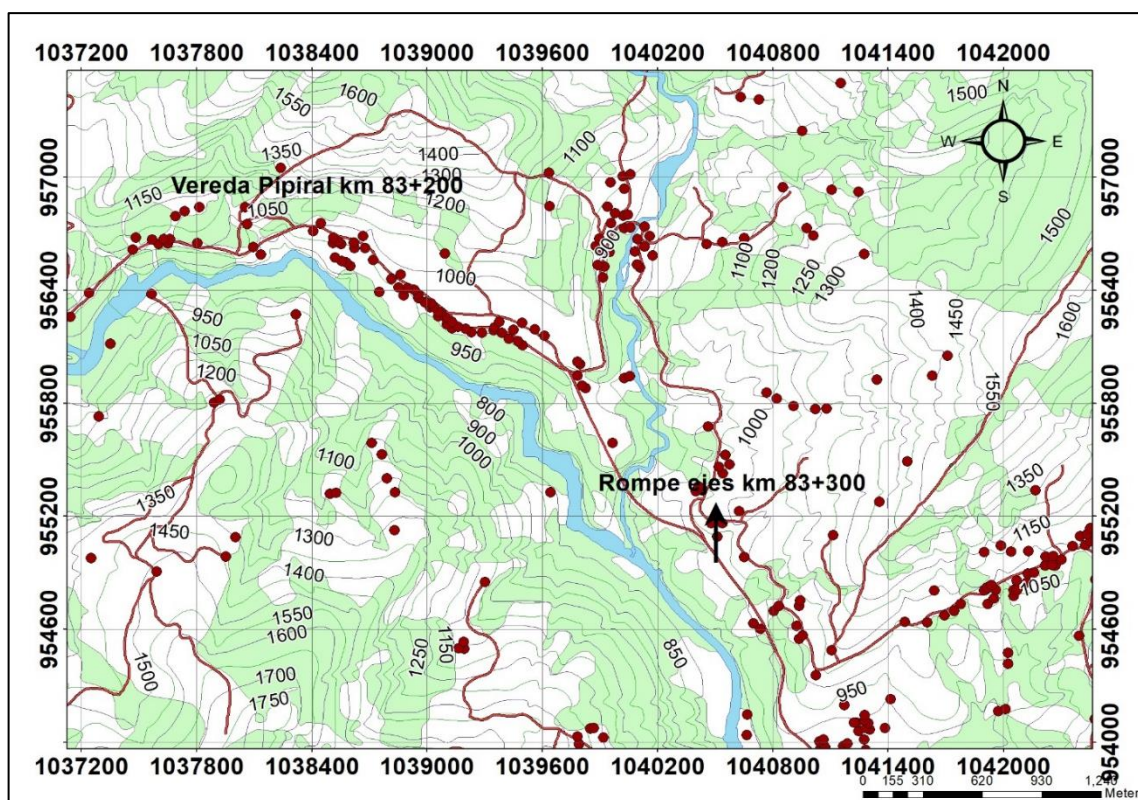
Por eso entendemos que una ladera, la cual está sustentada el proyecto, es una zona que no es plana, posee unas pendientes y cambios en su altura. Características naturales que hacen parte de la conformación del terreno y tienden a fallar a causa de diversos factores naturales. Por ende, en materia de ingeniería, se diseña el puente, esto con el motivo de la pésima condición que hay en el sector, donde años atrás en el 2021, se presentó un deslizamiento, provocando el taponamiento de la carretera en ambos carriles impidiendo la movilidad de las veredas hacia el municipio de Villavicencio. Donde al implementar esta estructura, donde mejorará las condiciones de acceso y así evitar que la bancada vuelva a deslizarse, una solución sólida en su cimentación.

8 Marco geográfico

El área de estudio donde actualmente se encuentra esta zona (Figura 3), corresponde principalmente el Municipio de Villavicencio, en la zona veredal llamado Vereda de Servitá, ubicada al noroccidente de la ciudad, por la antigua vía a la capital del País. Corresponde a un área total de afectación de 4190.25m² y un perímetro de aproximadamente 283.44m, con coordenadas N=4°11'42"; W= 73°42'54". los puntos morados expresan las construcciones y las zonas en verde los bosques y vegetación que presenta la zona, también se puede evidenciar la quebrada Diamante perpendicular a la zona de estudio, el río Negro paralelo a “Rompe Ejes” y las etiquetas de las curvas de nivel cada 50m las curvas menores, su geografía es más detallada, vemos que la altura del sector asciende por encima de los 900 msnm. Información adaptada del IGAC (2014) y posteriormente procesada en ArcGIS.

Figura 3

Mapa detallado geografía zona de estudio



9 Marco normativo

Tabla 1

Normatividad del proyecto

Ley	Año	Especificación
1523	2012	Principios, objetivos y políticas para la gestión del riesgo y establece una serie de responsabilidades de las entidades pertenecientes al Estado, tales como organismos de socorro y otras entidades involucradas en la gestión de riesgos (Congreso de la República de Colombia, 2012).
Decreto 2157	2017	Reglamenta a la ley 1523 de 2012 y establece una serie de disposiciones específicas para la gestión de cualquier desastre, establece una serie de lineamientos para identificar, analizar, evaluar y manejar cualquier riesgo (Presidencia de la República de Colombia, 2017).
Decreto 1807	2014	Establece una serie de condiciones y escalas a detalle para la incorporación gradual de la gestión de riesgo en la revisión a corto, largo y mediano plazo de los POT (Presidencia de la República de Colombia, 2014)
Decreto 19	2012	Se establecen los trámites, procedimientos y regulaciones administrativas que tienen como finalidad proteger y garantizar los derechos de las personas naturales y jurídicas (Presidencia de la República de Colombia, 2012).
NSR-10	2013	Criterios y procedimientos de diseño para estructuras sismorresistentes (Sociedad Colombiana de Geotecnia, 2013).
Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14	2015	Establece los requisitos técnicos para el diseño y construcción de puentes en Colombia (Ministerio de Transporte, 2015).
Código Colombiano de puentes	2014	Establece los parámetros de diseños óptimos para la elaboración de puentes en Colombia en cumplimiento con los criterios sismorresistentes (Ministerio de Transporte, 2014).
Norma técnica colombiana 2004	2004	Establece criterios adicionales relacionados con aspectos viales, hidráulicos y geotécnicos que deben tenerse en cuenta en el diseño de puentes (Icontec, 2004).

Tabla 1 Continuación

INV 210 -07	Criterios para la explanación y desecho de residuos.
INV 220-07	Criterios para la escarificación, nivelación y compactación del terreno (Instituto Nacional de Vías, 2012).
INV 221-07	Preparación de la superficie de apoyo del terraplén, colocación y compactación con material pétreo (Instituto Nacional de Vías, 2012).
INV 642-07	Suministro e instalación de almohadillas elastoméricas de apoyo para el sistema de vigas del puente (Instituto Nacional de Vías, 2012).
INV 710-07	Suministro, almacenamiento, transporte e instalación de la señalización vertical de tránsito (Instituto Nacional de Vías, 2012).

10 Estado del arte

Para Pineda y Sabogal (2019), afirman que la amenaza de los deslizamientos en Servita es inminente, por lo tanto, es necesario establecer y delimitar hasta dónde afectará tanto a los habitantes de la zona como a quienes tengan que transitar por este sector, con el fin de evitar y/o mitigar los daños que se puedan ocasionar tras este fenómeno. Por otro lado, se ha deducido que los deslizamientos futuros, es decir, que generan dependencia e inestabilidad en el terreno. Sin embargo, esto también depende de la topografía, el índice de humedad y la pendiente del terreno. Bajo un modelo logístico binario, se podría predecir la probabilidad de la ocurrencia de estos eventos.

Según Romero y Morales (2014), la falla La Reforma es una falla satélite de la Falla de Servitá, presenta una orientación NNE, con convergencia hacia el oriente y transporte tectónico hacia el oeste, tiene un buzamiento alto, pone en contacto las Formaciones Pipiral y Capas Rojas de Guatiquía; sobre la vía se observa que la zona de Falla puede alcanzar los 380 m, la roca se encuentra fracturada, factor que hace que se presenten sitios inestables en este sector.

Ellos también proponen como solución alternativa la implementación de un viaducto de 500 m de longitud, el cual evitaría el tener que estar en permanente intervención del talud y de la banca. Los fenómenos de remoción en masa que ocurren en distintas partes del mundo, pueden tener una variación de acuerdo a la composición interna como externa del terreno. Sin embargo, en el ámbito externo, depende de una serie de factores, tales como la humedad, la lluvia, mano directa del hombre, fallas geológicas entre otros. La vereda Servitá reúne cada uno de estos factores anteriormente mencionados, ya que se ubica en una zona donde se ve afectada por una falla y a eso se le suma el factor lluvia lo cual desencadena los deslizamientos. La continua precipitación satura en cantidad el terreno. Por lo tanto, es necesario la intervención directa al terreno para así mitigar los posibles daños que se puedan presentar con el tiempo con este fenómeno.

11 Metodología

Para esta investigación, se tuvo como fuente principal el SGC (Servicio Geológico Colombiano), lo cual soporta bases sólidas del proyecto.

11.1. Recolección de información

Se tomó del SGC (Servicio Geológico Colombiano), información pertinente a la geología que compone este sector, como también al INVIAS, información con respecto a las fechas donde han ocurrido los deslizamientos en el sector, como también los datos con respecto al estudio que se ha realizado en la zona afectada. Se recurrió a los datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), para la toma de los datos hidrometereológicos, de las estaciones cercanas a Servitá y la composición se hará de la siguiente manera.

- Toma de información
- Clasificación de la información necesaria
- Depuración de datos no necesarios
- Caracterización de los datos y análisis de ellos.

11.2. Análisis hidrometereológico

Con la información proveniente de las estaciones del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) ubicadas en la vereda Servitá y en el acueducto de La Esmeralda, se recogió y depuró información con respecto a las precipitaciones que ocurren allí en la zona afectada, esto con el fin de establecer los niveles de escorrentía y erosión del suelo.

11.3. Mapas como reconocimiento de las obras realizadas

Con la información de datos en formato shp (shape) de la página “Colombia en mapas” se accedió a al contenido de la plancha “266 IIA” del IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2023). El cual contiene información, tal como la elevación del terreno, obras que actualmente están en la zona y vías existentes, también se contará con información de pequeñas cuencas hidrográficas que descienden de la montaña, construcciones, vías e infraestructura que actualmente está en esta zona del país.

11.4. Análisis de los resultados

Luego de una depuración de la información obtenida de las diferentes fuentes en internet, se tomará resultados con respecto al análisis hidrometereológico, pendiente topográfica, y la verificación de los movimientos de remoción en masa a través de las características del macizo rocoso.

11.5. Zonificación de la amenaza

Con la información obtenida en diferentes fuentes, se tomarán datos pertinentes con respecto a las zonas que actualmente representan mayor amenaza por los fenómenos de remoción en masa en la zona donde se está llevando el estudio, en la vereda Servitá.

11.6. Propuesta de un puente como alternativa de solución de ingeniería

Con los resultados obtenidos en la investigación, se propone el diseño de un puente como solución al deslizamiento de la bancada actual de la vía y como plan de mejoramiento vial para evitar el colapso de la movilidad del sector, ya que algunos vehículos que transitan por este sector provienen de la capital de País y de las distintas veredas que necesitan llegar al municipio de Villavicencio.

12. Desarrollo metodológico

Durante el desarrollo del proyecto, se les dio cumplimiento a los objetivos estipulados al comienzo del documento y se mostrarán a través de la siguiente tabla:

Tabla 2

Resultados, correspondiendo a los objetivos planteados

Resultado	Indicador	Descripción
Interpretación de la información obtenida y el análisis de imágenes satelitales	Mapa, información en lenguaje shp.	Objetivo específico 1
Evaluación de la infraestructura presente.	Modelo	Objetivo específico 1
Diagnóstico actual del suelo y condiciones hidrometereológicas, con datos proporcionados del IDEAM	Informe	Objetivo específico 2
Diseño del puente como solución de ingeniería.	Informe	Objetivo específico 3

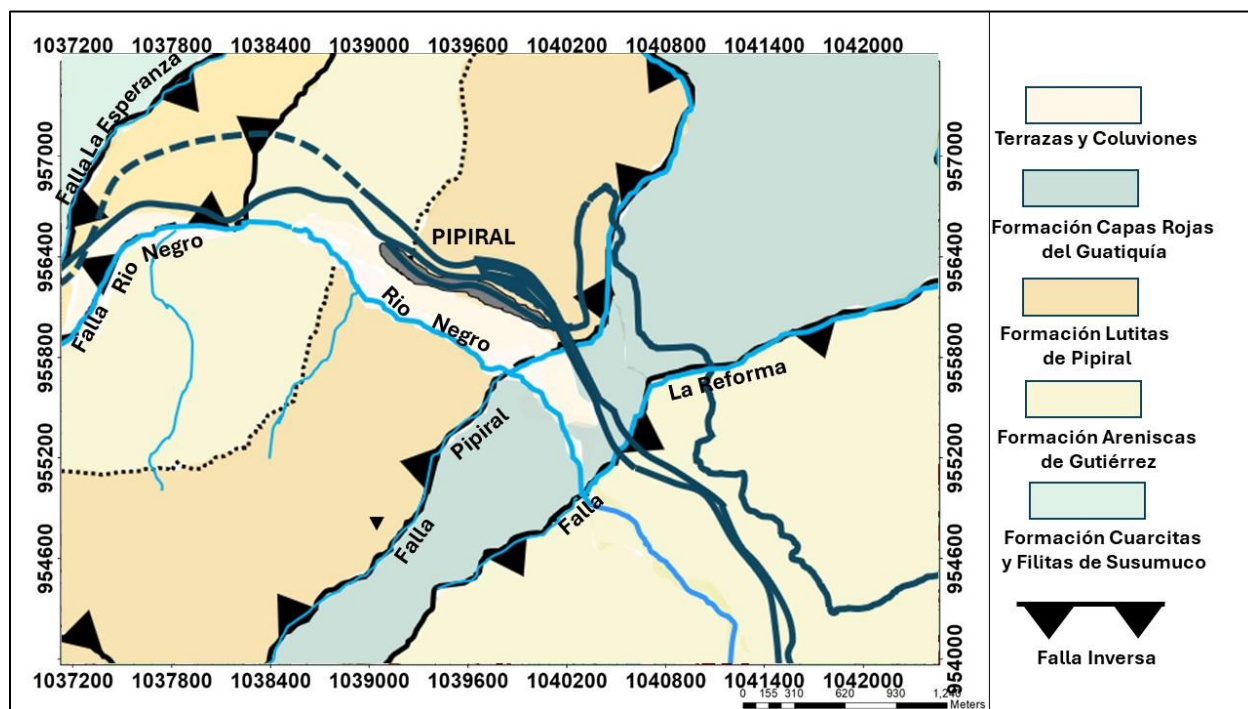
12.1. Composición geológica del sector

Para Forero Muñoz (2005), la geología de la zona de estudio (Figura 4) se caracteriza principalmente por bloques de origen tectónico que abarcan una variedad de rocas sedimentarias y metamórficas. En términos generales, las estructuras geológicas muestran un rumbo norte-este, mientras que los ríos interceptan perpendicularmente alineamientos de tipo metamórfico, estructuras antiguas y fallas geológicas como la falla de Servita y el Mirador. El macizo rocoso presente en algunas áreas cercanas o que subyace a los depósitos recientes y superficiales corresponde a las Capas Rojas del Guatiquia (Pcrg), de origen en la era Paleozoica. La litología de esta formación consiste principalmente en rocas sedimentarias y metamórficas de bajo grado, incluyendo meta-areniscas y meta-lodolitas. La diversidad litológica de esta unidad se manifiesta en la resistencia diferencial del macizo rocoso (Figura 5). Los depósitos aluviales (Qalt) se ubican principalmente en la ladera derecha y en algunos sectores de la ladera izquierda. Estos depósitos están mayormente compuestos por bloques y gravas sub redondeadas y redondeadas en una matriz predominantemente areno-limosa. Por otro lado, los depósitos de ladera (Qdl1, Qdl2) consisten

principalmente en materiales de diversos orígenes, desintegrados de la parte alta de las laderas y materiales de desecho de la antigua vía cuando fue construida.

Figura 4

Mapa geológico de la zona de estudio.



12.1.1 Formación Areniscas de Gutiérrez

Según Pulido y Gómez (2001), la Formación Areniscas de Gutiérrez, corresponde a cuatro columnas levantadas en las quebradas Palmarito, Cobre, San Marcos y Naranjal. Y se define como una secuencia constituida generalmente por un conglomerado compuesto de cantos con cuarzo, con espesores que varían de 10 a 60m. En general compone de areniscas y conglomerados.

12.1.2 Formación Lutitas de Pipiral

Según Pulido y Gómez (2001) esta unidad corresponde al conjunto de estratos de rocas sedimentarias de gran espesor compuesto por limolitas, areniscas, conglomerados y calizas que aflora en la zona sur del Municipio de Gutiérrez en la zona de la vereda El Brasil y en el km

82+900. El nombre de esta unidad se debe a Hubach (1945). También aflora en el oeste de la quebrada Palmarito en la zona sur del Municipio de Guayabetal. Esta formación de lutitas se caracteriza por ser una unidad cuyos contactos en la parte superior e inferior son transicionales y con niveles fosilíferos, los cuales han sido de guía para la determinación temporal de la secuencia Paleozoica Superior. Véase en la Figura 9, la geomorfología entre las formaciones de Gutiérrez y las Lutitas de Pipiral.

Figura 5

Geomorfología de la región de estudio. Tomado de Díaz et al (2013).



12.1.3 Formación Capas Rojas del Guatiquía

Esta formación aflora principalmente hacia el oriente de la región la cual se está estudiando (Lomas de Chirajara, Susumuco y Servitá), dando lugar a la formación de estructuras alargadas y valles profundos. También se pueden encontrar afloramientos más limitados en las cabeceras del Río Chiquito y Río Clarín, al sur del Municipio de Gutiérrez y en el km 82+850 en la vía Bogotá – Villavicencio (Figuras 6 y 7). Su característica distintiva radica en la presencia de capas de limolitas de color rojo, las cuales contrastan con las unidades situadas por debajo y por encima de ellas.

Por medio de la cartografía que se ha elaborado, se ha podido determinar su proporción de las limolitas de color verde claro, es mucho más alta y que su extensión junto con el espesor de la unidad, es mayor que la que se ha evidenciado en los distintos trabajos ya realizados. Según Renzoni (1968), la Formación Capas Rojas del Guatiquía se compone de 150 m de arenisca gris y luego 150 m de arenisca verdosa y luego presenta alternancia de areniscas con lutitas rojas. Hacia

el norte de esta zona de estudio entre la quebrada de Pipiral y la finca de La Reforma, también está constituida por limolitas de color grisáceo a rojizo (Renzoni, 1968).

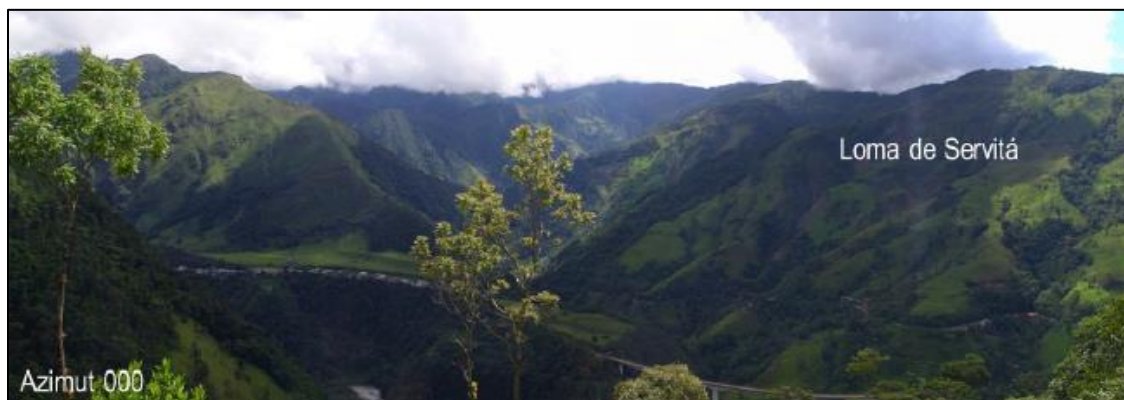
Figura 6

Afloramiento de limolitas color rojo relacionadas con la Formación Capas Rojas del Guatiquia, km 83 + 400, carretera Bogotá Villavicencio, sector vía antigua.



Figura 7

Paisaje geomorfológico de la Formación Capas Rojas del Guatiquia. Tomado de Diaz et al. (2013).



12.1.4 Terrazas y coluviones

Conformados por sedimentos que provienen de la cuenca río Negro, con alturas de 31m, estas se conforman de gravas y arenas cuyo origen es fluvial con proporción coluvial. En esta región se presentan terrazas de gran espesor las cuales se desarrollaron durante el Pleistoceno. Localmente se observan deslizamientos antiguos conformados por materiales no consolidados resultantes de la meteorización de las unidades Paleozoicas como las Formaciones Lutitas de Pipiral y Capas Rojas del Guatiquia principalmente. En estos se observan arenas y gravas (figuras 8 y 9).

Figura 8

Aspecto de un antiguo deslizamiento conformado por material de procedencia coluvial.



Figura 9

Coluvión km 83+320.

**12.2. Geología estructural**

Las fallas que cruzan la zona de estudio siguen los cursos de las quebradas La Reforma y Pipiral. Estas fallas son fallas satélites de la Falla Servitá y son inversas. En la evolución tectónica de la región son los límites de los bloques que en este caso definen las unidades Paleozoicas, los cuales ascendieron y se exhumaron durante la fase final de la construcción de la cordillera durante el Pleistoceno. El back stop para este sector es la falla Servitá (G. Chicangana, com. pers.)

12.2.1 Falla de Pipiral

La falla de Pipiral (Figura 4), está ubicada en el sector de la vereda de Pipiral, cercana al río Negro y se extiende al s siguiendo el Caño Esperanza. Es una falla inversa con un buzamiento alto hacia el oeste, y se caracteriza por servir de contacto entre las rocas de la Formación Lutitas de Pipiral y la Formación Capas Rojas del Guatiquía. Imagen tomada de (Díaz et al, 2013).

12.2.2 Falla la Reforma

Esta falla inversa (Figura 4) igualmente y con buzamiento hacia el E, sirve de contacto entre las rocas de la Formación Lutitas de Pipiral sobre la Formación Capas Rojas del Guatiquia.

Esta falla cruza la carretera en sentido perpendicular en el sector de “Rompe Ejes”, y la principal causante de los problemas geotécnicos que se tratan en este trabajo (German Chicangana, 2024).

12.3. Suelos

El suelo es el producto de la interacción compleja de varios factores, entre ellos la roca madre, el tiempo, el clima, las plantas y los animales, y la topografía. Dado que los procesos de formación del suelo actúan desde la superficie hacia abajo, las variaciones de composición, textura, estructura y color evolucionan de manera gradual a las diversas profundidades. Existen muchas variaciones de un lugar a otro y de un período a otro entre los factores que controlan la formación del suelo (Pineda y Sabogal, 2019)

El suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre, puede definirse como una combinación de material mineral y orgánica, agua y aire.

Para identificar el tipo a que pertenece a la zona estudiada se aplicó la metodología de conjuntos creada por científicos estadounidenses para clasificar los suelos conocido como la *Taxonomía del suelo* que hace énfasis en las propiedades físicas y químicas del perfil del suelo y se organiza según las características observables del suelo.

12.3.1 Entisoles

Para Pineda y Sabogal (2019). Los Entisoles son un orden de suelos en la clasificación taxonómica de suelos desarrollada por el Sistema Internacional de Clasificación de Suelos (SICS). Se caracterizan por ser suelos jóvenes con una formación incipiente y una falta evidente de horizontes bien desarrollados. Estos suelos se encuentran típicamente en áreas donde la erosión, deposición o procesos geológicos recientes han dejado materiales sueltos y poco desarrollados. Los Entisoles se forman a partir de materiales geológicos recientes, como depósitos aluviales, arenas, limos o cenizas volcánicas. Debido a su juventud, estos suelos tienen una estructura muy simple y carecen de horizontes claros de diferenciación, como horizontes.

12.3.2 Pendiente

Las pendientes en la zona (Figura 10 y tabla 3), reflejan los cambios máximos que tienen en la elevación y son factores importantes a la hora de analizar la erosión, deposición y humedad del suelo. Para el entendimiento de las pendientes, se realizó una modelación en ArcGIS, a través de un modelo ráster, en las curvas de nivel que presenta este sector, logrando así sectorizar con colorimetrías, las pendientes que posee el lugar, como lo evidencia la siguiente figura, utilizando sistema de referenciación del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) que confiere al sistema Magna Colombia Bogotá. Las pendientes clasificadas según su color indican que el color amarillo, son pendientes medias con porcentajes de inclinación entre 15% y 30%, el color verde evidencia grupos de bosques, la quebrada diamante perpendicular a la zona de estudio, el río Negro paralelo a Romper Ejes y por último la alineación geométrica de la vía en color negro para resaltar. Esta información se obtuvo mediante la carta de la plancha (Carto25000_Metadato_266IIA_AC_2014) fuente del IGAC (2014), procesada en ArcGIS y referenciado bajo el sistema Magna Colombia Bogotá.

Figura 10

Mapa de pendientes de la zona de estudio a partir de un modelo ráster

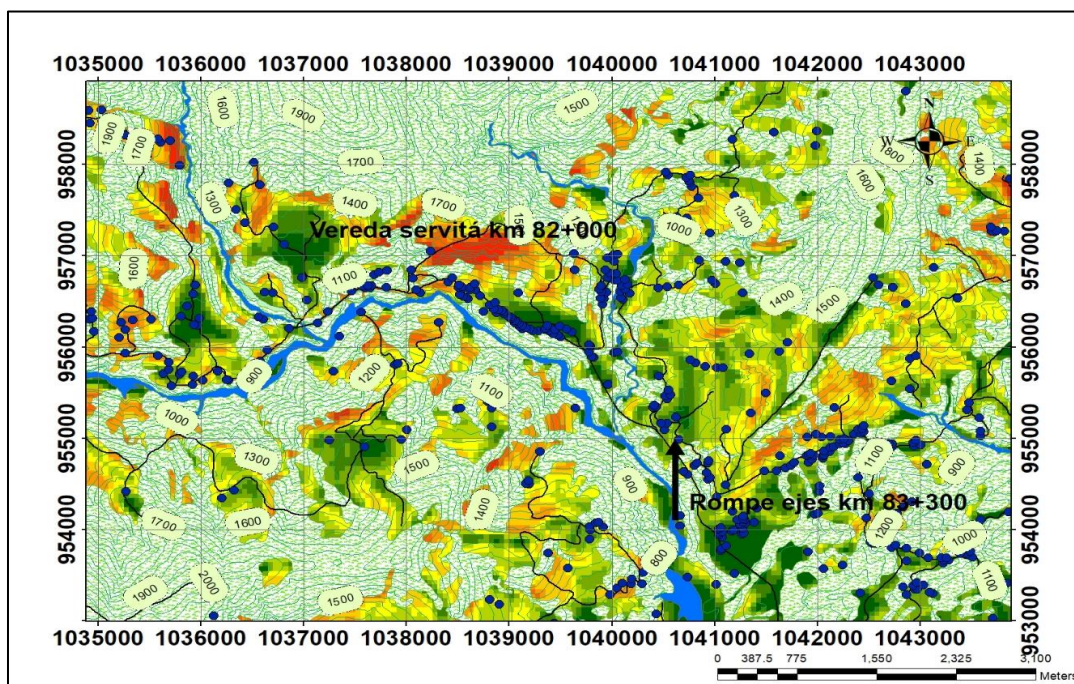


Tabla 3*Pendientes mostradas en la figura 10 según porcentaje y ángulo de inclinación clasificación baja.*

Color	Tipo de pendiente	Porcentaje inclinación	Ángulo inclinación
	Muy baja	0%-15%	0°-8.5°
	Baja	15%-30%	8.5°-16.7°
	Media	30%-50%	16.7°-26.6°
	Alta	50%-100%	26.6°-45°
	Muy alta	>100%	>45°

13. Análisis de datos

13.1. cobertura vegetal

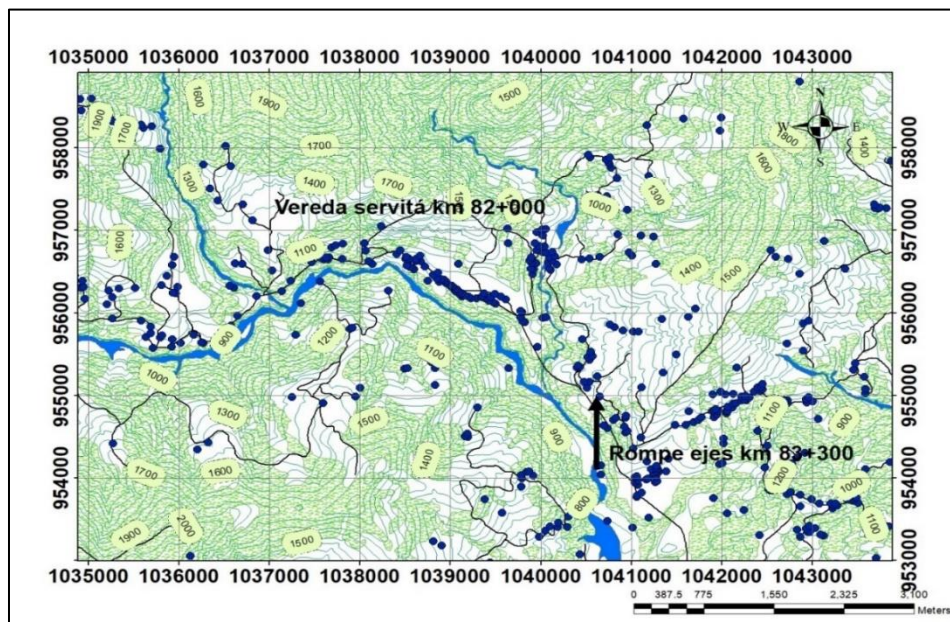
Con la información suministrada por parte de las autoridades estatales, se realizó un mapa de cobertura vegetal y uso del suelo véase (Figura 11), clasificando la información de manera detallada de las zonas boscosas y de las vías que por allí están delimitadas, mapa elaborado a escala 1:10,000 con georreferenciación Magna Colombia Bogotá.

También se clasificó la información obtenida en metadatos, logrando realizar un mapa a escala 1:25,000 de la conformación de las pendientes del talud, información obtenida en la carta del metadato “Carto25000_Metadato_266IIA_AC_2014” en la cual dictamina información precisa del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), en la conformación a partir de un modelo ráster elaborado de manera propia.

Se clasificó información con respecto a la ubicación de estructuras tipo vivienda en las cuales están ubicadas en los km 83+300 y 82+000 (Figura 10), en la vereda Pipiral, datos leídos y procesados, a través del programa ArcGIS.

Figura 11

Mapa cobertura vegetal y uso de suelo.



13.2. Clima y precipitación

El comportamiento en el tiempo del clima de la zona de estudio se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4

Datos Hidrometereológicos. Tomado de IDEAM (2023).

Codigo	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Etiqueta	Valor	Fecha
35030040	Esmeralda	4.163638889	-73.64772222	550	PTPM_TT_A	4773	1/01/2021 0:00
35030040	Esmeralda	4.163638889	-73.64772222	550	PTPM_TT_A	4001.5	1/01/2022 0:00
35030290	Servitá	4.18849	-73.69233	1084	PTPM_TT_A	6968.5	1/01/2021 0:00
35030290	Servitá	4.18849	-73.69233	1084	PTPM_TT_A	6915	1/01/2022 0:00
35030290	Servitá	4.18849	-73.69233	1084	PTPM_TT_A	5645	1/01/2023 0:00

Según los datos de la (Tabla 5), se tiene que para la precipitación mensual el pico máximo en esta zona se presenta durante el mes noviembre. El balance hídrico está en función de la escorrentía superficial que depende del comportamiento de la precipitación y la temperatura máxima que se encontró con estos datos se presentó en el mes de octubre de 2023 con 32 °C. Todos los datos fueron tomados de la estación de Servitá (IDEAM, 2023).

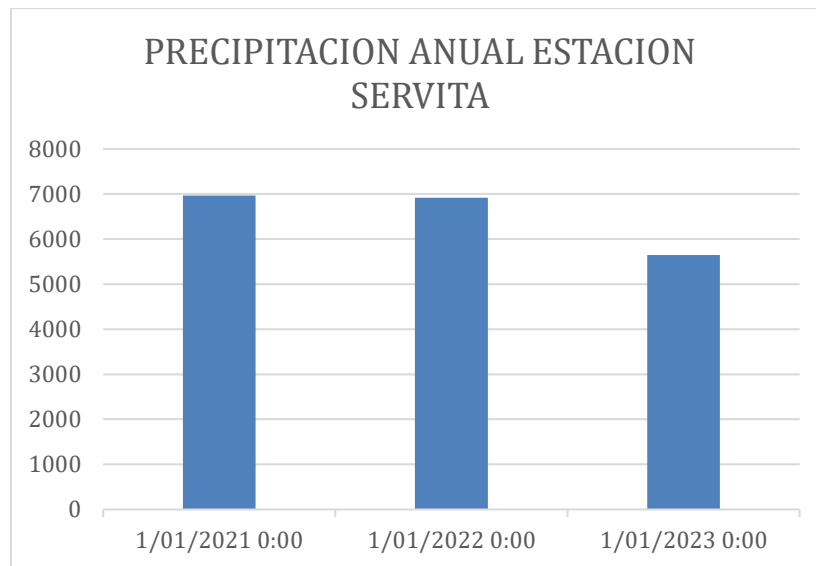
Tabla 5

Balance hídrico Estación Servitá. Tomado de IDEAM (2023).

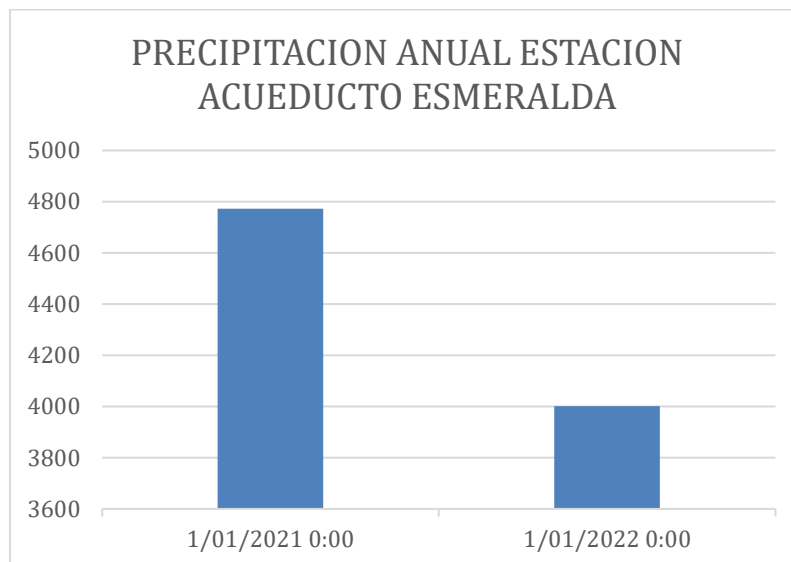
Balance hídrico mensual estación Servitá													
Año	2023												2024
Fecha	Ene ro	Febr ero	Mar zo	Ab ril	Ma yo	Jun io	Jul io	Ago sto	Septie mbre	Octu bre	Noviem bre	Diciem bre	Ene ro
Precipita ción mm	695	72	363	629	551	494	788	533	414	628	822	436	57
Tempera tura °C	31	32	30	30	30	30	30	32	33	32	NO SE TIENE INFORMACIÓN EN EL IDEAM		

Figura 12

Precipitaciones anuales estación Servitá. Tomado de (IDEAM, 2023).

**Figura 13**

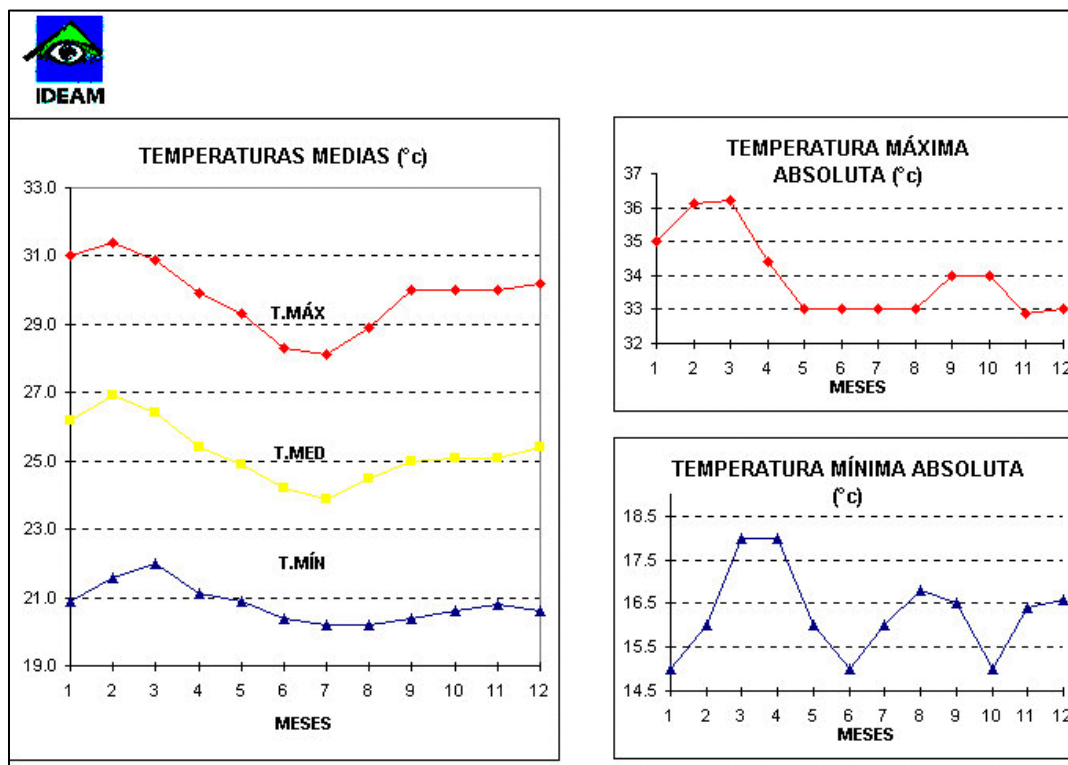
Precipitaciones anuales estación Acueducto Esmeralda (Villavicencio).



Según los datos graficados en las (Figuras 12 y 13), podemos razonar que la estación pluviométrica de Servitá para datos anuales de precipitación presenta unos valores mayores. La temperatura anual se observa en la figura 14. Por lo tanto, la zona de estudio sufre una constante infiltración de agua, lo que afecta la composición geológica del suelo.

Figura 14

Temperatura anual de la zona de estudio, Tomado de (IDEAM, 2023).

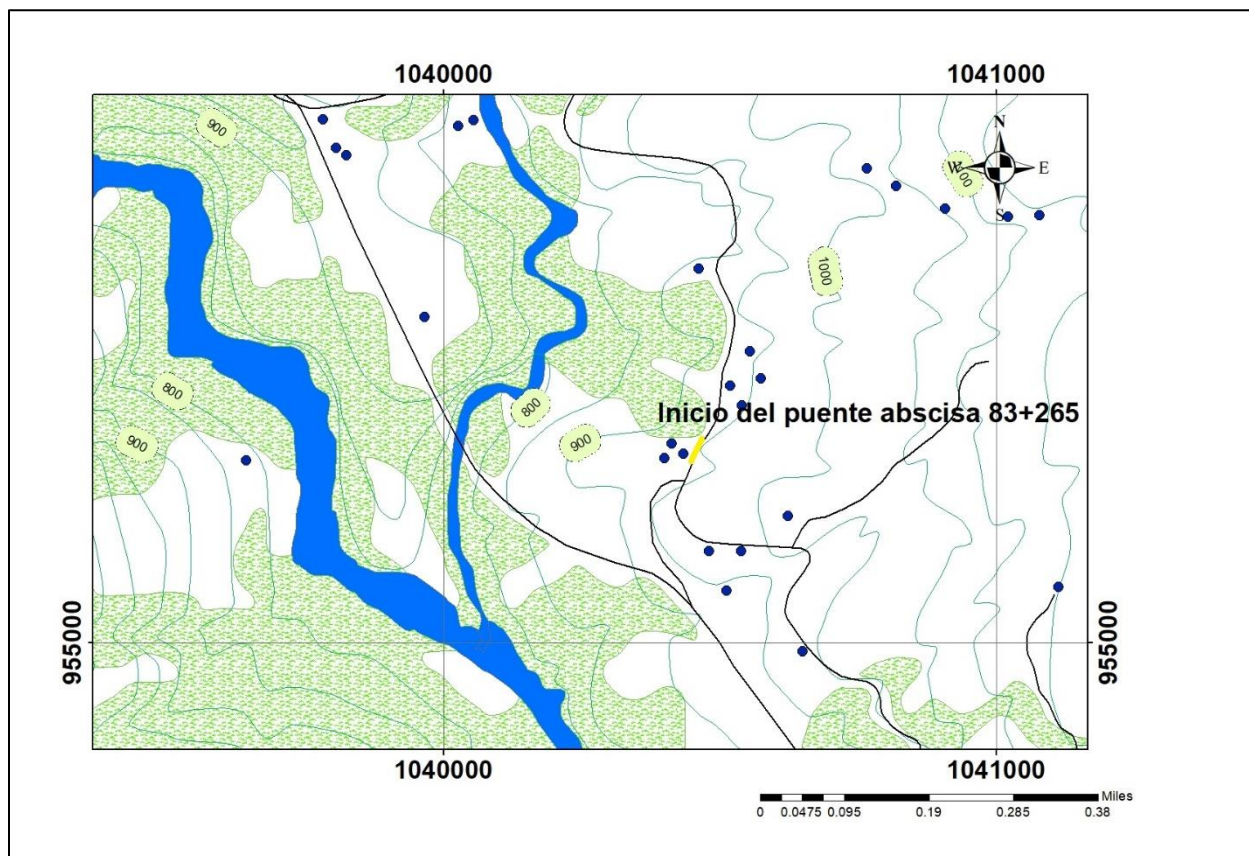


14. Diseño de un puente como alternativa solución de ingeniería

Dadas las condiciones del sitio “Rompe Ejes” en cuanto a la pérdida de la bancada, es vital definir una alternativa constructiva que consiga de manera permanente solucionar el inconveniente de los cierres de la vía en este sector. Por ende, se diseña un puente con una luz de 35m que encaja en el sector en donde actualmente se desbancó la calzada y que actualmente no se le ha dado un tratamiento definitivo para recuperar el terreno. Tendrá su instalación de la cimentación en las coordenadas N 4°11'40.188" y W 73°42'45.13" lo que abarca el área total de la bancada que se deslizó, afectando el carril de paso con una luz total de 35m. En la (Figura 15), se detalla la información a escala 1:5,000 de la ubicación de la estructura con color amarillo en el mapa.

Figura 15

Ubicación del puente km 83+300.



El ancho del tablero del puente es de 5.0 m (Figura 16), solo permite el paso de un vehículo en una dirección a la vez. Teniendo en cuenta esta limitación, se han instalado dos vigas metálicas que soportan un tablero de concreto. Con lo mencionado anteriormente, se considera que la solución estructural más apropiada conceptualmente es un sistema de vigas metálicas prefabricadas, respaldadas por estribos de concreto. Con las limitaciones y restricciones que actualmente posee la zona, así como los requerimientos que se exigen para la construcción de una estructura, se estudió y se planteó un tipo de puente, conformado por una losa sobre una viga metálica. Esta consiste en una viga de sección compuesta, en la que una parte de la estructura metálica tiene forma de I que trabaja continuamente con el tablero superior hecho en concreto. La sección I se prefabrica y se monta sobre unos apoyos. Luego de estar la viga en su lugar se procede al vaciado del concreto

Figura 16

Foto panorámica de la proyección de la estructura y estado actual de la vía km 83+300



Además de las consideraciones constructivas de costo directo, es de importancia tener en cuenta los costos de las maniobras de montaje, pues la maniobra de objetos pesados, aparte de ser riesgosa es demorada. Pero con el diseño de elementos estructurales tipo viga cajón tienden a ser más sencillos y sus procedimientos son más seguros. La reducción del peso en la estructura implica una demanda menor en las estructuras verticales de apoyo.

14.1. Proceso constructivo

De los procesos relevantes (Tabla 6) para la selección de una estructura, es la facilidad de implementar el proceso constructivo y su tiempo récord en la elaboración y se sintetizan en las siguientes etapas:

Tabla 6

Actividades constructivas

Fase	Actividad
1	Pilas de cimentación
2	Vigas de cabezal y aletas sobre los pilares de la cimentación
3	Vigas metálicas sobre las vigas de cabezal
4	Fundir las vigas sobre las formaletas
5	Vaciado de vigas de bordillo a lo largo del puente
6	Instalación y adecuación de las barandas de seguridad

14.2. Materiales para su construcción

Los elementos usados para la elaboración de la estructura van acogidos al Código Colombiano de Puentes 2014 y la NSR.10 con sus debidas especificaciones (Tablas 7, 8 y 9).

14.2.1 Concreto estructural

Tabla 7

Especificación del tipo de concreto estructural

Tipo de estructura del puente	Especificación del concreto	Norma
Pilas de cimentación	F'c= 21Mpa / 210 kgf/cm ²	Nsr-10
Prefabricados	F'c= 21Mpa / 210 kgf/cm ²	Nsr-10
Losas vaciadas en el lugar	F'c= 21Mpa / 210 kgf/cm ²	Nsr-10

Para la relación agua/cemento, se recomienda una de 0.45 como valor máximo, para en el caso del módulo de elasticidad del concreto, se calculará con la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$Ec = 4700 * \sqrt{f'c(Mpa)}$$

Para el cemento se usará uno mismo tipo 1, según la NTC 121 y la NTC 321.

14.2.2 Acero de refuerzo

Tabla 8

Especificaciones técnicas del acero de refuerzo

Tipo de elemento	Especificaciones técnicas	Norma que lo acobija
Barra de acero	Fy= 420 Mpa	Nsr-10 cap. C.3.5 y la NTC 2289
Mallas de refuerzo	Fy= 525 Mpa	Nsr-10 cap. C.3.5. y la NTC- 2310
Alambrón	Fy= 525 Mpa	Nsr-10 cap. C.3.5. y la NTC- 2310

14.2.3 Acero estructural

Tabla 9

Especificaciones técnicas acero estructural

Tipo de elemento	Especificaciones técnicas	Norma que lo acobija
Platinas y láminas en acero	Fy= 350 Mpa Fu= 45 Mpa	ASTM 512
Perfiles angulares	Fy= 350 Mpa Fu= 45 Mpa	ASTM 512
Pernos de conexión de partes	Perno Arandela Tuerca	ASTM 325(PERNO)-ASTM F436(ARANDELA)-ASTM A563 (TUERCA)
Apriete		AISC 360-05 sección J3.1
Pernos de anclaje a las vigas metálicas	Fu= 724 Mpa	F1554 grado 105
Soldadura	E7018 o ER70S-6	AWS D1.1
Acero	Resistente a la corrosión	ASTM A588 gr 50

14.3. Cargas de la estructura

Para las combinaciones de carga, se establecieron bajo el criterio del CCP-14, sección N°3, descritas en las (Tablas 10 y 11)

14.3.1 Cargas muertas

Son consideradas como aquellas que son peso muerto dentro de la estructura, tales como losas, vigas, bordillo del puente, baranda de seguridad entre otras.

Tabla 10*Tipos de cargas y peso estructural*

Tipo de elemento	Peso (kN)
Losa de concreto	897,6
Bordillo	142,8
Viga metálica	325
Equipos de trabajo	51
Carpeta de asfalto	35
Pasamanos metálico	34

14.3.2 Cargas vivas

En la sección 3 del CCP-14, se encuentran los parámetros de diseño, para el análisis de cargas vivas y muertas. Véase tabla 11, dicho análisis de cargas de impacto vehicular con sus condiciones de diseño

Tabla 11*Configuración cargas vivas, disposición de las cargas vehiculares para camión*

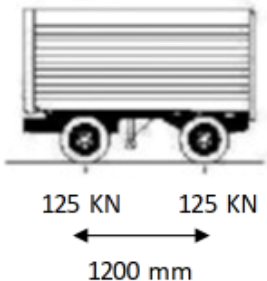
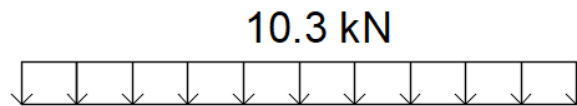
Tipo de carga	Especificación tándem de diseño										
IM (Impacto)	Tabla 3.6.2.1-1 — Amplificación por Carga Dinámica, <i>IM</i> <table> <tr> <th>Componente</th><th><i>IM</i></th></tr> <tr> <td>Juntas de Tablero-Todos los Estados Límite</td><td>75%</td></tr> <tr> <td>Todos los demás componentes:</td><td></td></tr> <tr> <td> Estado Límite de Fatiga y Fractura</td><td>15%</td></tr> <tr> <td> • Todos los demás Estados Límite</td><td>33%</td></tr> </table>	Componente	<i>IM</i>	Juntas de Tablero-Todos los Estados Límite	75%	Todos los demás componentes:		Estado Límite de Fatiga y Fractura	15%	• Todos los demás Estados Límite	33%
Componente	<i>IM</i>										
Juntas de Tablero-Todos los Estados Límite	75%										
Todos los demás componentes:											
Estado Límite de Fatiga y Fractura	15%										
• Todos los demás Estados Límite	33%										
LL (Carga vehicular) Condición de diseño N°1 Camión de diseño + Carril de diseño	 10.3 kN 										
LL (Carga vehicular) Condición de diseño N°2 Camión de diseño + Carril de diseño											

Tabla 11 Continuación

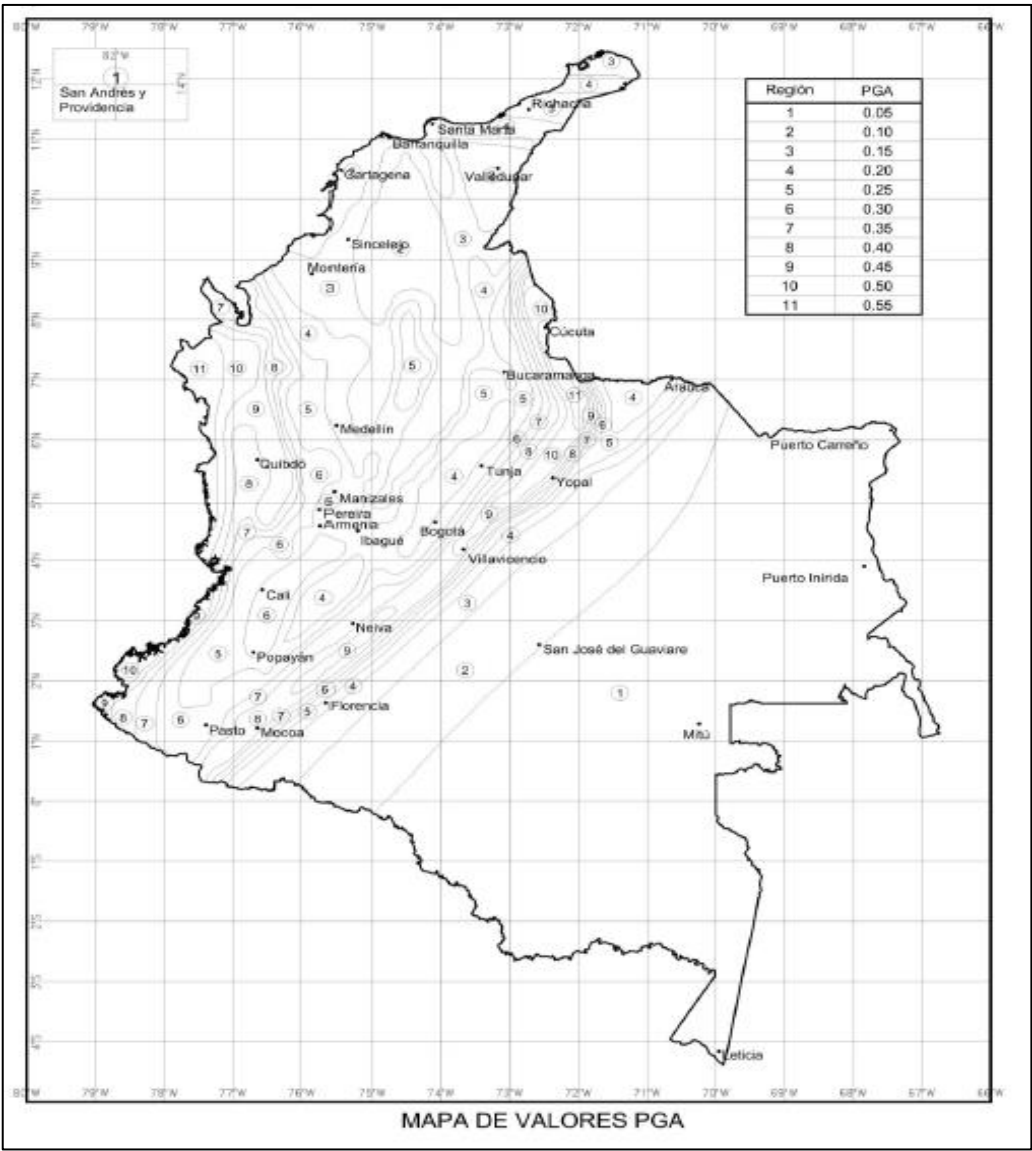
14.3.3 Cargas

14.3.3.1. Cargas peatonales. Para este tipo de cargas, según el CCP-14, se le asignará un valor de 3.6 kN/m^2 a todas las aceras que tengan una longitud de 600mm de ancho.

14.3.4 Cargas de sismo (E_x , E_y)

La demanda de actividad sísmica se determinó mediante el espectro de aceleraciones, diseñado según el Código Colombiano de Puentes en la región N°4, en donde se ubica Villavicencio. En primera instancia debemos encontrar los valores de P_g , S_s y S_1 . Para los valores P_g (Figura 17) un valor de 0.20. Para S_s (Figura 18) 0.40 y para S_1 (Figura 19) 0.20.

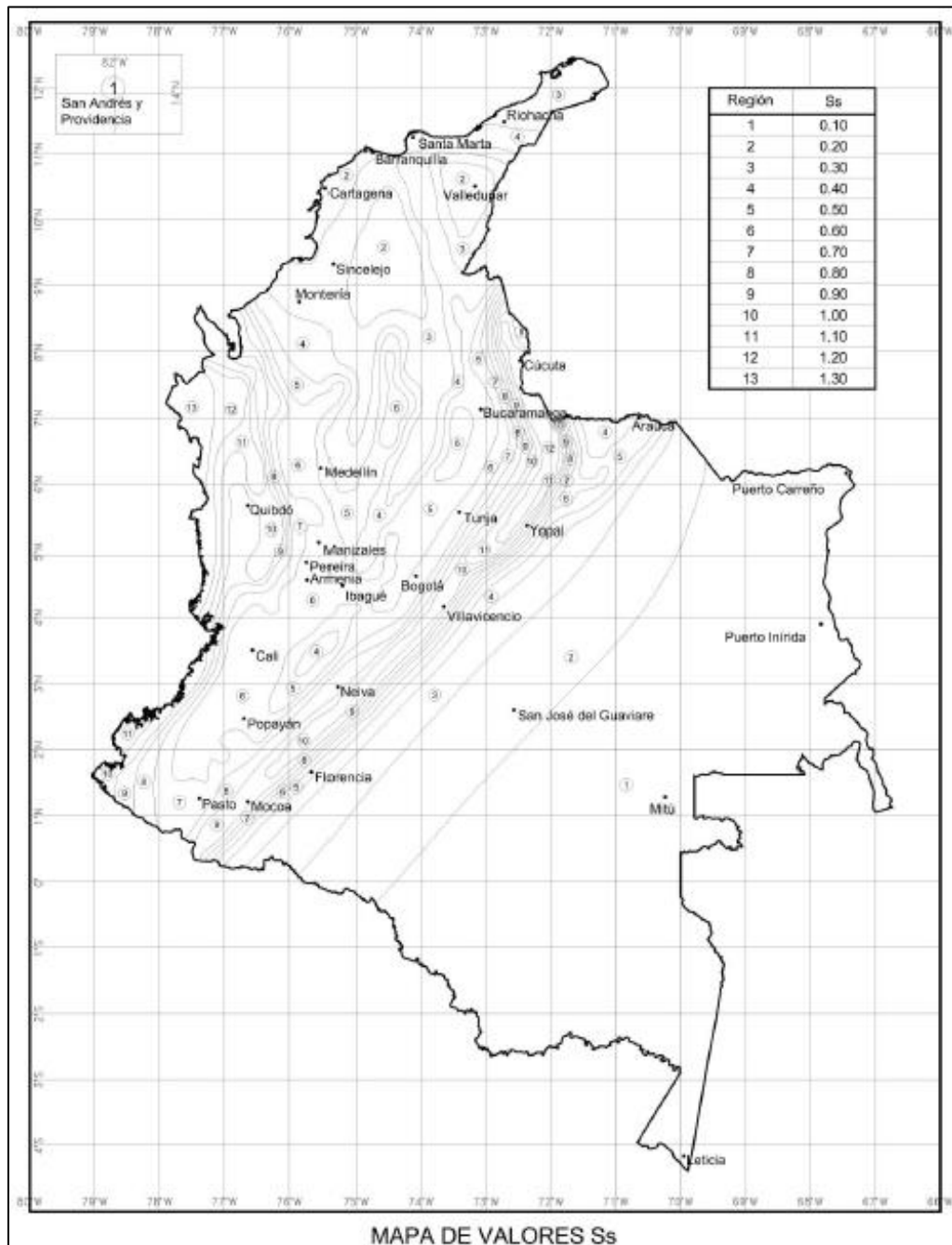
Figura 17
Tabla de valores PGA. Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).



14.3.5 Valor para Ss

Figura 18

Valores para Ss. Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).



14.3.6 Valor para S_1

Figura 19

Valores que toma S_1 . Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).

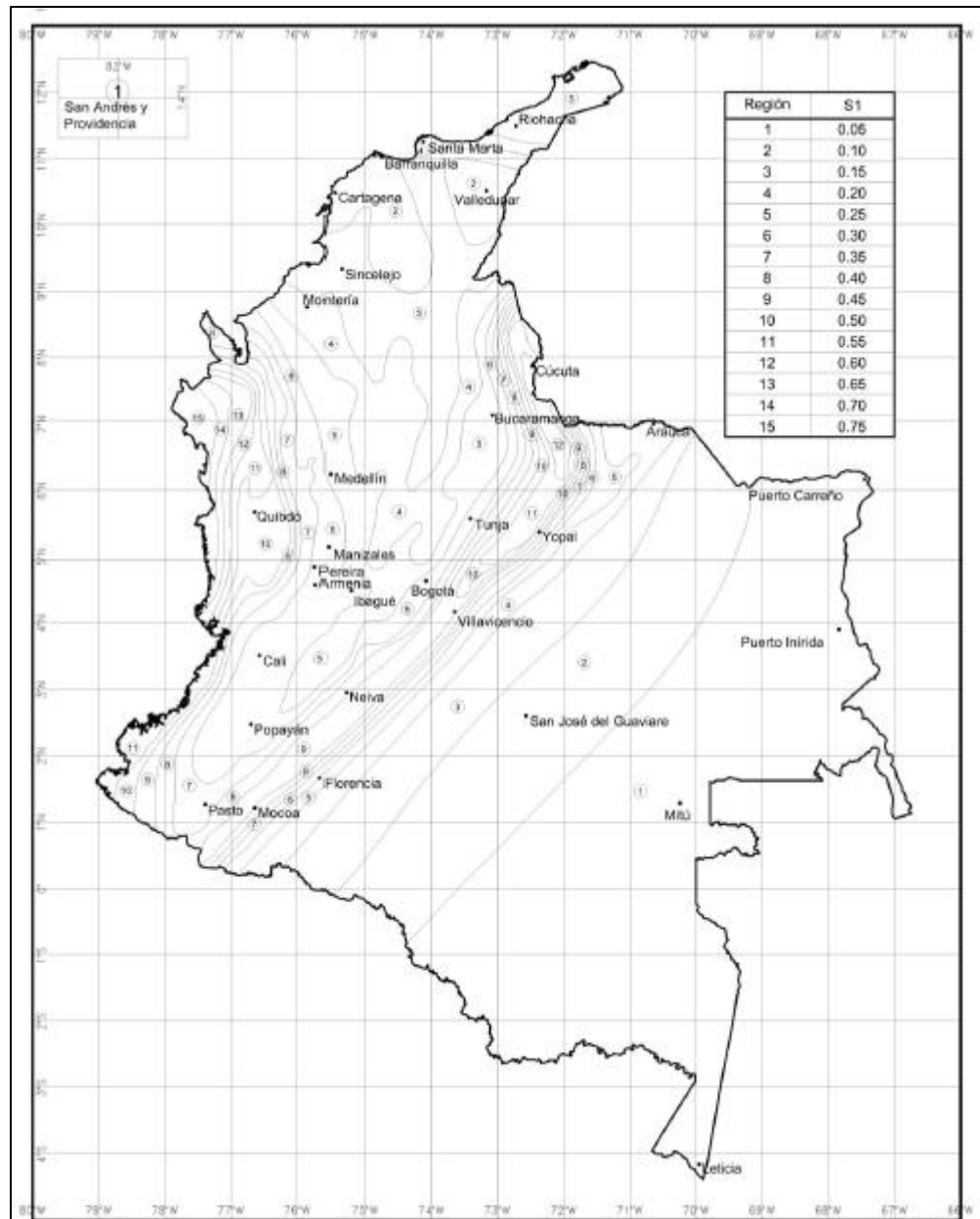


Tabla 12*Definición de los tipos de perfil de suelo*

Tipo de perfil del suelo	Características del perfil
A	Roca competente con velocidad medida de onda de cortante, $v_s \geq 1500$ m/s.
B	Perfil de roca de rigidez media con v_s en el intervalo $1500 \text{ m/s} \geq v_s \geq 760 \text{ m/s}$.
C	Perfiles de suelo muy densos o roca blanda con velocidad medida de onda de cortante, V_s en el intervalo $760 \text{ m/s} \geq v_s \geq 360 \text{ m/s}$, o Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $N > 50$ golpes/pie, o $su > 100 \text{ KPa}$ ($\cong 1 \text{ kgf/cm}^2$).
D	Perfiles de suelos rígidos con velocidad medida de onda de cortante V_s en el intervalo $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$, o Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: N en el intervalo $50 \text{ golpes/pie} > N \geq 15 \text{ golpes/pie}$, o su en el intervalo 100 KPa ($\cong 1 \text{ kgf/cm}^2$) $> su \geq 50 \text{ KPa}$ ($\cong 0.5 \text{ kgf/cm}^2$).
E	Perfil de suelo con velocidad medida de onda de cortante, $v_s < 180 \text{ m/s}$, o Perfiles que cumplan con cualquiera de los dos criterios siguientes: $N < 15 \text{ golpes/pie}$, o $su < 50 \text{ KPa}$ ($\cong 0.5 \text{ kgf/cm}^2$), o Cualquier perfil con $H > 3 \text{ m}$ de arcilla blanda, definida como un suelo con $IP > 20$, $w > 40\%$ y $su < 25 \text{ KPa}$ (0.25 kgf/cm^2).
F	Suelos que requieren evaluación particular de sitio, tales como: • Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. • Turbas o arcillas altamente orgánicas ($H > 3 \text{ m}$ de turba o arcillas altamente orgánicas donde H = espesor del suelo) • Arcillas de alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con $IP > 75$) • Estratos de arcillas con rigidez de media a blanda de gran espesor ($H > 36 \text{ m}$)

Nota: Clasificación del perfil del suelo “D” asumida en este trabajo para el diseño del puente sugerido para el sitio “Rompe Ejes”. Tomado de Código Colombiano de Puentes (2014).

14.3.7 Valor para factor de sitio para periodo cero (F_{pga})

Tabla 13

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos (VÉASE LA NOTA 1)				
	$PGA \leq 0.1$	$PGA \leq 0.2$	$PGA \leq 0.3$	$PGA \leq 0.4$	$PGA \leq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Nota: Valor para (1.4) F_{pga} para perfil de suelo tipo “D” Tomado del (Código Colombiano de Puentes, 2014).

14.3.8 Factor de sitio para periodo corto (F_a)

En el cual se estipulan los valores del F_a (Tabla 14), según el tipo de suelo seleccionado tipo “D”. Se interpolan valores por ser un S_s de 0,40 (Figura 18). El cual está entre 0,25 y 0,50 por lo tanto al interpolar el valor final es 1.48.

Tabla 14

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de 0.2s (Véase la Nota 1)				
	$SS \leq 0.25$	$SS \leq 0.50$	$SS \leq 0.75$	$SS \leq 1.00$	$SS \leq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Nota: Tomado del (Código Colombiano de Puentes, 2014).

14.3.9 Factor de sitio para periodo largo (F_v)

En el cual se estipulan los valores del F_v (Tabla 15), según el tipo de suelo seleccionado tipo “D”. El valor que toma para este valor es de 2.0 según el valor S_1 obtenido en la figura 19.

Tabla 15

Tipo de Perfil	Coeficiente de aceleración espectral para período de vibración de 1.0s (Véase la Nota 1)				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 \leq 0.20$	$S_1 \leq 0.30$	$S_1 \leq 0.40$	$S_1 \leq 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2	véase nota 2

Nota: Factor de sitio para periodo largo F_v (Código Colombiano de Puentes, 2014).

14.3.10 Diseño del espectro de diseño

Los valores del espectro de diseño finales se reflejan en las (Tablas 16 y 17) Por criterio de diseño se estipuló un coeficiente de disipación de energía R_0 de 0.55.

Tabla 16

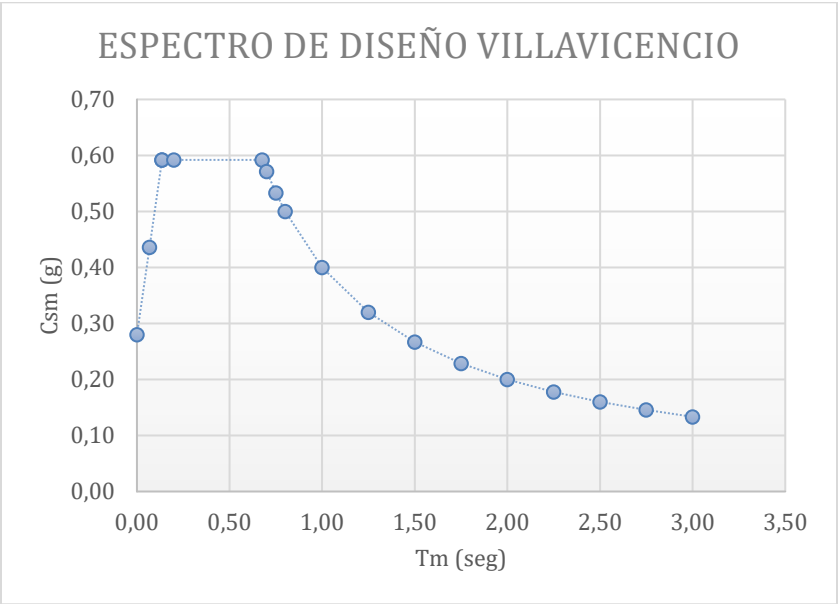
Valores del espectro de diseño

Coeficiente de aceleración pico	PGA	0.45
Coeficiente de periodo corto	S_s	1.00
Coeficiente de periodo largo	S_1	0.20
Tipo de suelo	Tipo de suelo	D
Factor de sitio para periodo cero	F_{pga}	1.05
Factor de sitio para periodo corto	F_a	1.10
Factor de sitio para periodo largo	F_v	2.00
	A_s	0.47
Coeficiente de aceleración 0.2s	SDS	1.10
Coeficiente de aceleración a 1.0s	SDL	0.4000

Tabla 17
Valor periodos espectro diseño

Periodo inicial	T0	0.07	seg
Periodo corto	Ts	0.36	seg
Periodo largo	TL	1.00	seg

Figura 20
Espectro de diseño



14.4 Combinaciones de carga

Para el diseño de elementos estructurales según el Código Colombiano de Puentes (2014), se estipularon las siguientes combinaciones de carga, los cuales se observan en las tablas 18 y 19.

14.4.1 Combinaciones de servicio

Tabla 18
Combinaciones de cargas de servicio.

Combinación de carga	Servicio
D + L + 0.3 W	I
D + 0.3 L	II
D + 0.8 L	III
D + 0.7 W	IV

14.4.2 Nomenclatura de cargas

Tabla 19

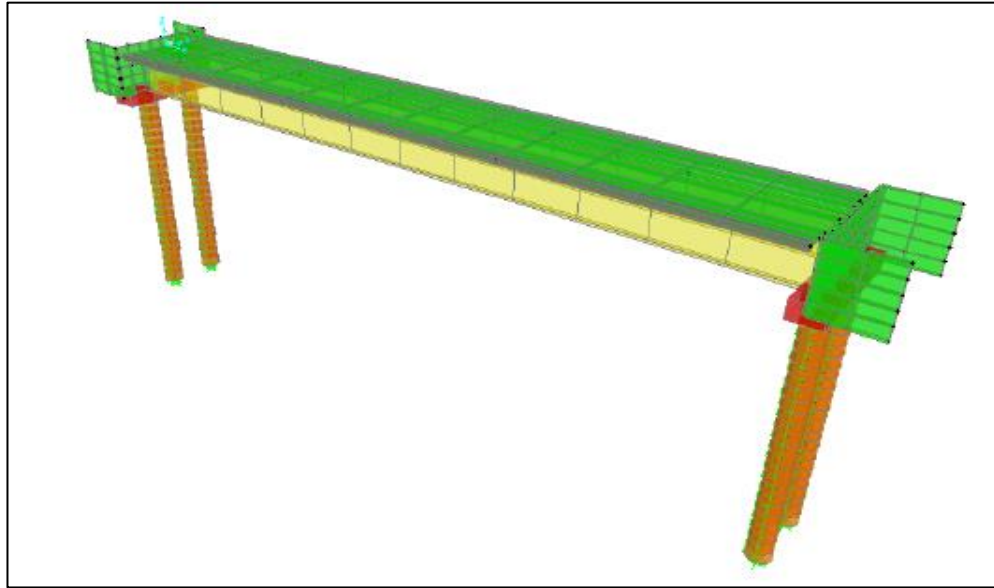
Nomenclatura de cargas.

Símbolo	Definición
D	Peso propio de los componentes estructurales y de los accesorios no estructurales.
E	Carga sísmica.
L	Varga viva peatonal
W	Carga de viento sobre la estructura.

14.5 Análisis estructural del diseño

Para analizar la estructura del puente (Figura 21), se utilizaron modelos simplificados de los puntos de apoyo. En la dirección transversal del puente, estos puntos de apoyo funcionan principalmente como voladizos cuando se aplican cargas horizontales. Además, se creó un modelo estructural utilizando el software SAP 2000 V15.1. En este modelo se incluyeron las combinaciones de carga establecidas en el Capítulo 3 del Código Colombiano de Puentes (2014). A partir de este modelo, se obtuvieron las fuerzas y tensiones necesarias para el diseño y la verificación de los diferentes componentes de la estructura del puente.

Figura 21 Plano isométrico del diseño del puente a través del programa de elementos finitos SAP 2000.



14.5.1 Periodos y modos de vibración

El cálculo del período fundamental de la estructura (Tabla 20), se determina utilizando las características del sistema estructural correspondiente a la dirección que se está considerando. Esto se realiza siguiendo los principios de la dinámica estructural y empleando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura (Figuras 22, 23 y 24).

Tabla 20

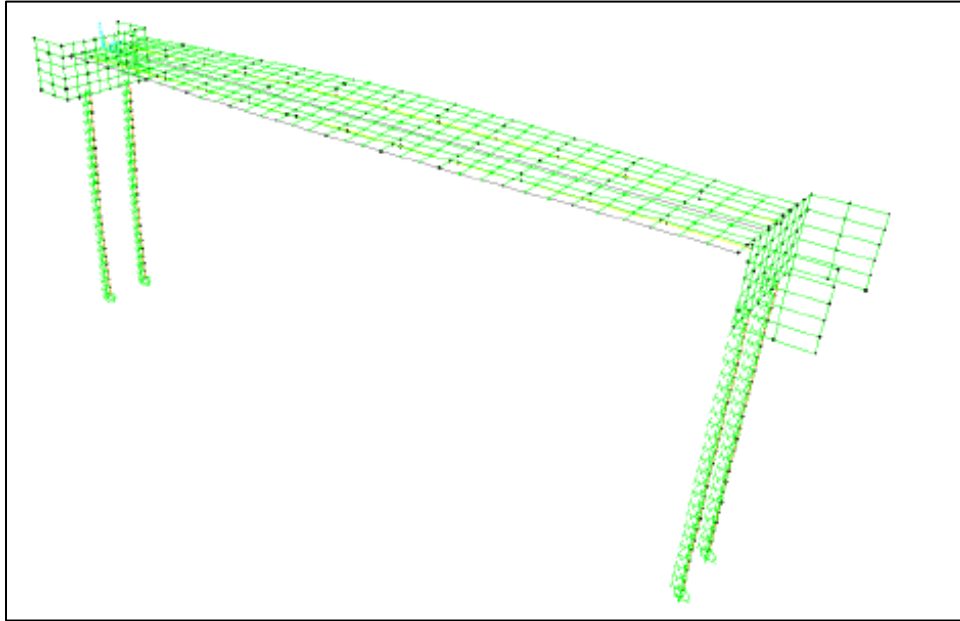
Periodos y modos de vibración de la estructura

Modos de vibración	Periodos de vibración	UX	UY	UZ	Suma UX	Suma UY	Suma UZ
1	0.298363	0.000	0.693	0.000	0.000	0.693	0.000
2	0.252473	0.000	0.000	0.401	0.000	0.693	0.401
3	0.239108	0.773	0.000	0.000	0.773	0.693	0.401
4	0.226319	0.000	0.027	0.000	0.773	0.720	0.401
5	0.188647	0.000	0.000	0.000	0.773	0.720	0.401
6	0.124905	0.000	0.032	0.000	0.773	0.752	0.401
7	0.116621	0.001	0.000	0.012	0.774	0.752	0.413
8	0.113365	0.004	0.000	0.001	0.778	0.752	0.414
9	0.112477	0.002	0.000	0.000	0.779	0.752	0.414
10	0.095633	0.000	0.036	0.000	0.779	0.788	0.414
11	0.094153	0.000	0.000	0.000	0.779	0.789	0.414
12	0.09257	0.015	0.000	0.002	0.794	0.789	0.416

Tabla 20 Continuación							
13	0.091637	0.022	0.000	0.002	0.816	0.789	0.418
14	0.089638	0.003	0.000	0.000	0.819	0.789	0.418
15	0.078444	0.000	0.013	0.000	0.819	0.802	0.418
16	0.076964	0.000	0.101	0.000	0.819	0.903	0.418
17	0.075687	0.000	0.005	0.000	0.819	0.908	0.418
18	0.075319	0.000	0.000	0.000	0.819	0.908	0.419
19	0.075207	0.000	0.000	0.000	0.819	0.908	0.419
20	0.07504	0.000	0.001	0.000	0.819	0.910	0.419
21	0.074984	0.000	0.000	0.000	0.819	0.910	0.419
22	0.074984	0.000	0.000	0.000	0.819	0.910	0.419
23	0.074842	0.165	0.000	0.000	0.984	0.910	0.419
24	0.074507	0.000	0.075	0.000	0.984	0.985	0.419
25	0.060006	0.000	0.000	0.000	0.984	0.985	0.419
26	0.058717	0.000	0.000	0.004	0.984	0.985	0.423
27	0.058289	0.000	0.000	0.000	0.984	0.985	0.423
28	0.058186	0.000	0.000	0.030	0.984	0.985	0.453
29	0.053849	0.000	0.004	0.000	0.984	0.989	0.453
30	0.053045	0.001	0.000	0.000	0.985	0.989	0.453
31	0.051011	0.000	0.000	0.001	0.985	0.989	0.453
32	0.050769	0.000	0.000	0.025	0.985	0.989	0.478
33	0.048605	0.000	0.001	0.000	0.985	0.990	0.478
34	0.048579	0.002	0.000	0.000	0.988	0.990	0.478
35	0.047118	0.000	0.000	0.000	0.988	0.990	0.478
36	0.047116	0.000	0.000	0.000	0.988	0.990	0.478
37	0.046838	0.002	0.000	0.000	0.990	0.990	0.478
38	0.046366	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.478
39	0.042436	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.478
40	0.042317	0.000	0.000	0.009	0.990	0.990	0.487
41	0.041417	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.487
42	0.041105	0.000	0.000	0.076	0.990	0.990	0.563
43	0.039064	0.000	0.000	0.006	0.990	0.990	0.569
44	0.038199	0.000	0.000	0.003	0.990	0.990	0.572
45	0.0379	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.573
46	0.03782	0.000	0.000	0.002	0.990	0.990	0.574
47	0.035646	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.574
48	0.034785	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.574
49	0.03425	0.000	0.000	0.021	0.990	0.990	0.595
50	0.03352	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.595
51	0.033142	0.000	0.000	0.000	0.990	0.990	0.595
52	0.032974	0.000	0.000	0.002	0.990	0.990	0.598
53	0.032841	0.000	0.000	0.023	0.990	0.990	0.621
54	0.032181	0.000	0.000	0.013	0.990	0.990	0.634

Figura 22

Modo 1 de vibración de la estructura

**Figura 23**

Modo 2 de vibración de la estructura

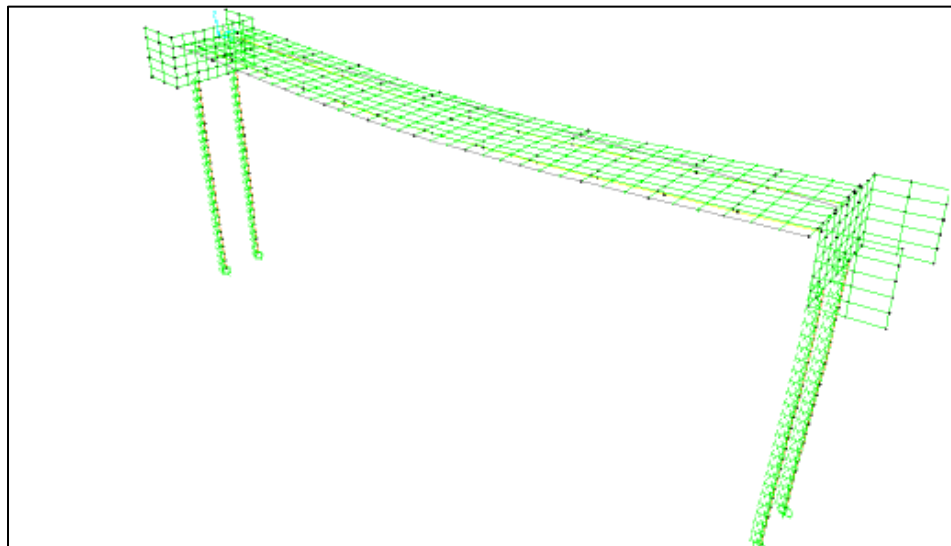
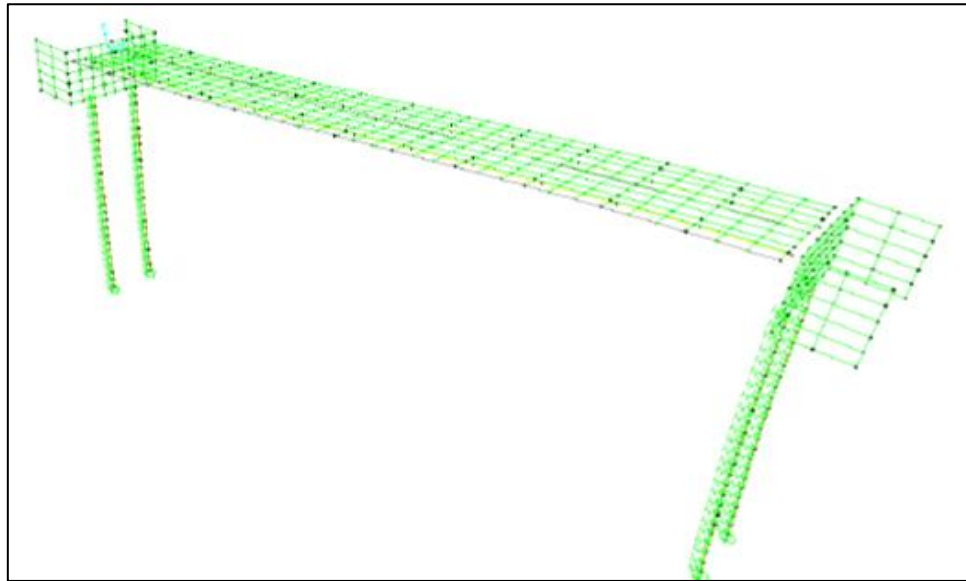


Figura 24

Modo 3 de vibración de la estructura



14.5.2 Chequeo de las deformaciones del puente

Para cada una de las vigas que componen la estructura, se obtienen los desplazamientos en el eje Z en el centro de la luz (Figura 25).

Figura 25

Desplazamientos en la estructura

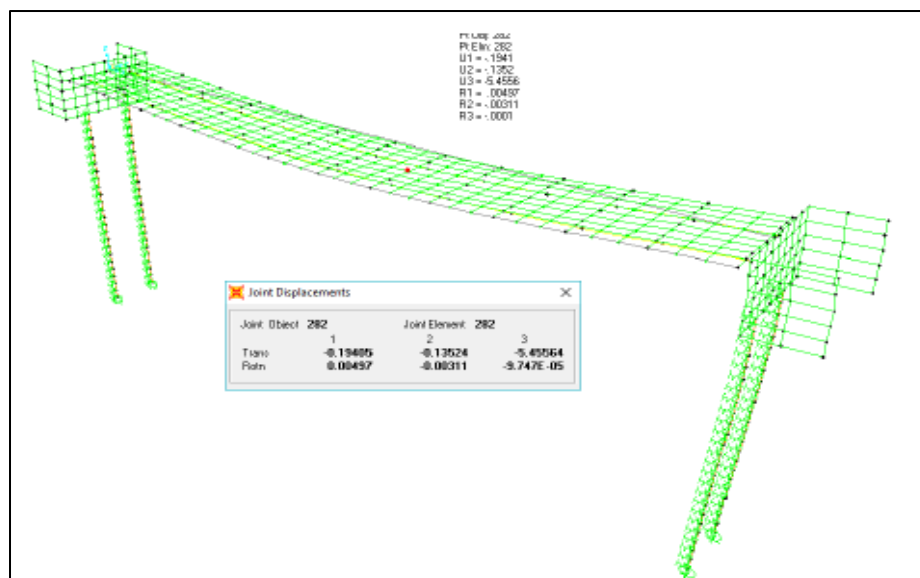


Tabla 21*Cargas de la estructura con sus respectivos momentos*

	Carga (kN/m)	factores	Momento (kN-m)	Cortante (kN)	deformada (cm)
Cargas permanentes DC1	20.65	1	2984.0	351.1	2.72
Cargas Bordillo DC2	2.1	1	303.5	35.7	0.28
Cargas barandas DC3	0.5	1	72.3	8.5	0.07
Carpeta rodadura DW	1.03	1	149.1	17.5	0.14
Camión de diseño + carga carril	31.9	1.3	4609	566.3	4.21
Sumatoria	56		8118	979	7.41
% de uso			0.46	0.19	13.60

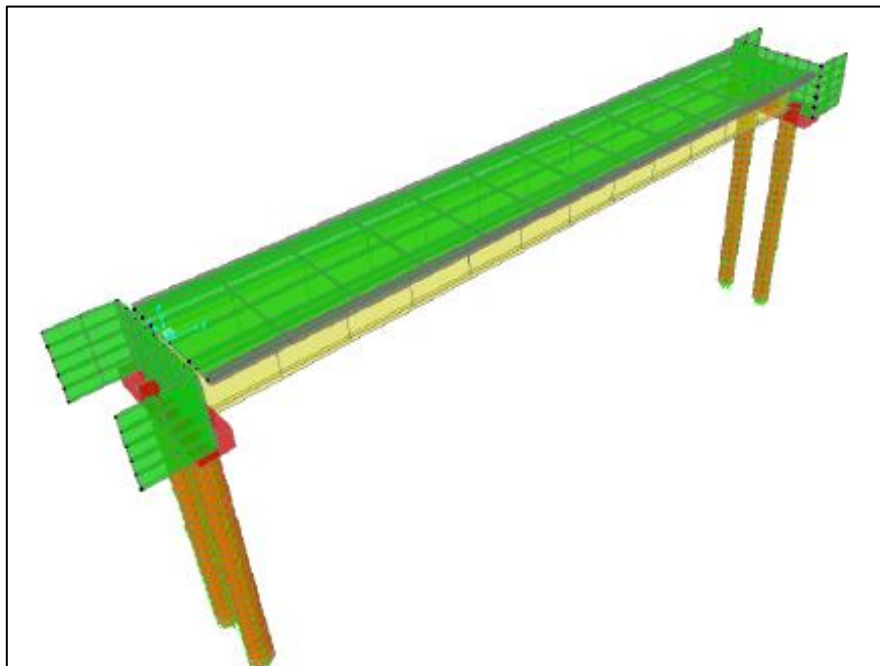
14.6 Diseño de la cimentación del puente

Dado que las condiciones actuales del terreno presentan dificultades de estabilización, cada una de las pilas del puente, tendrán un apoyo aproximadamente a 12m de profundidad, desde la cota actual del terreno. En la figura 30 se observa el modelo isométrico del puente con las pilas de cimentación.

Con la información obtenida de algunas fuentes del INVIAS y estudios de suelos hechos en zonas aledañas al sector, se adoptaron los siguientes criterios de diseño

Figura 26

Isométrico del puente con las pilas de cimentación



14.6.1 Geometría de la Pila 1

Figura 27

Geometría de la pila de cimentación

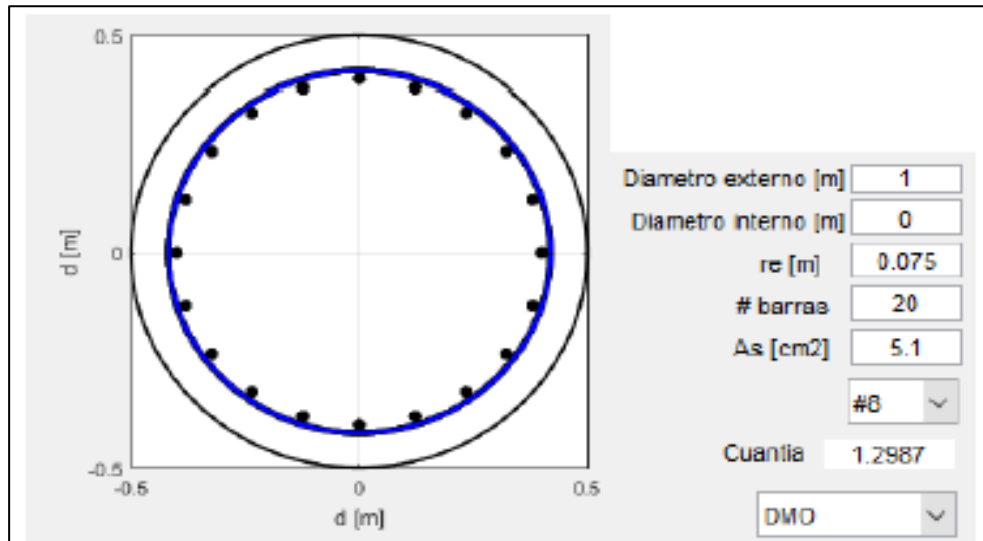


Figura 28

Diagrama de momento y cortante de la Pila 1

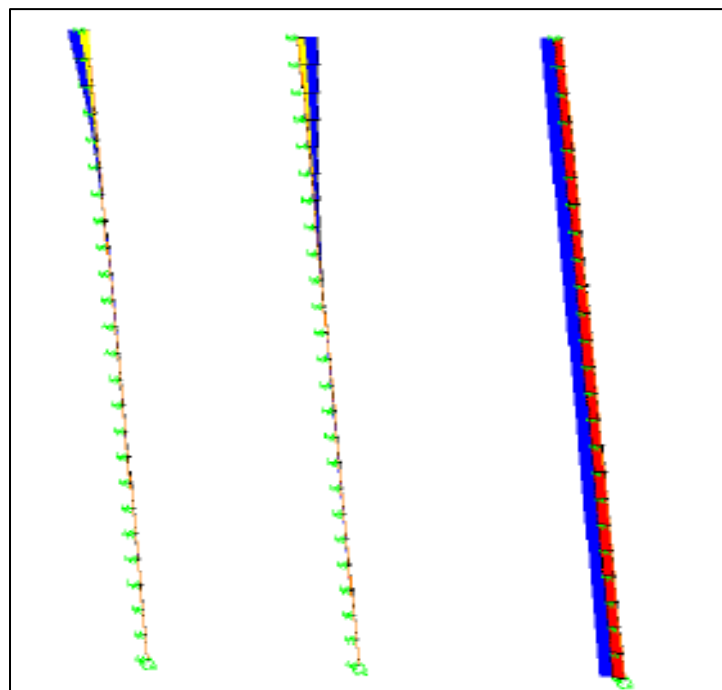
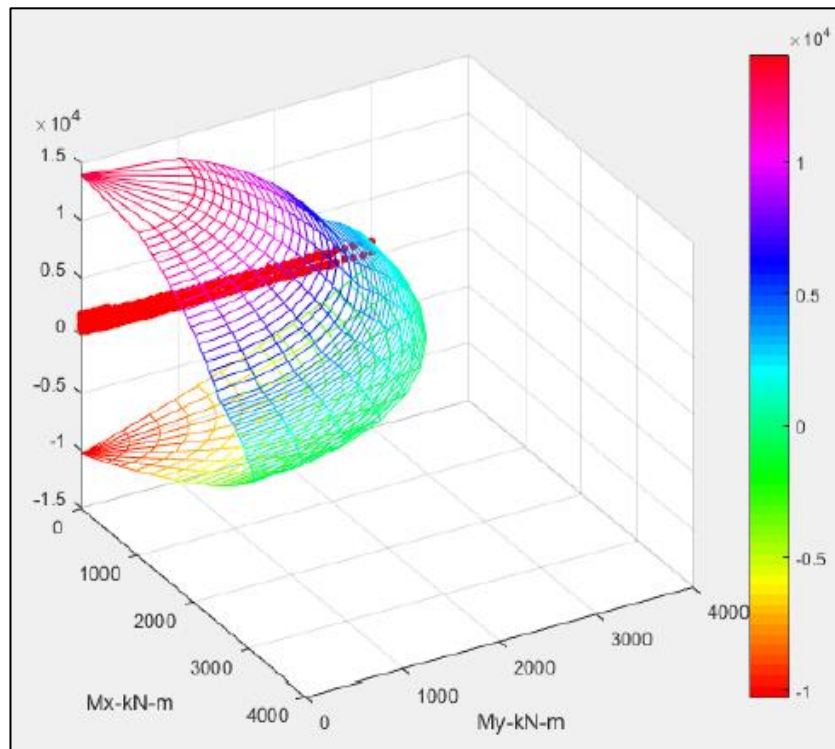


Figura 29 Diagrama de interacción de la Pila 1 del puente

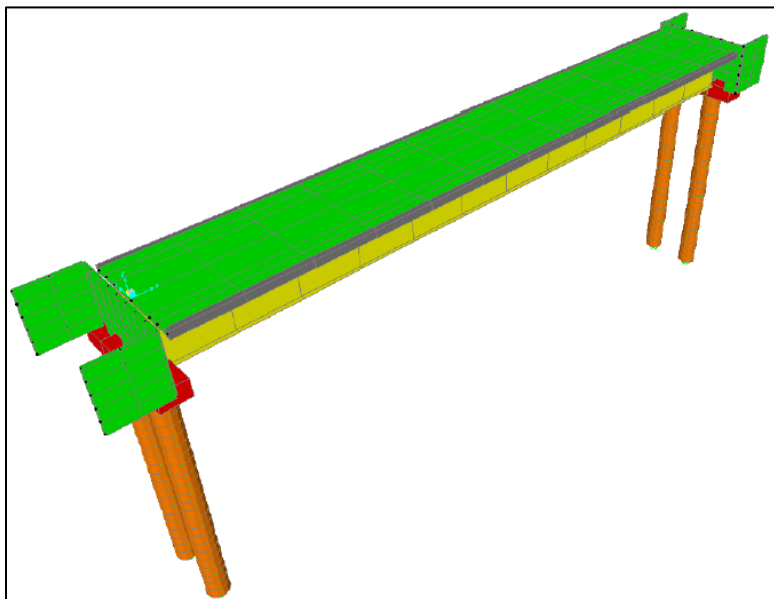
14.7 Diseño de los elementos estructurales

14.7.1 Geometría de la losa

El modelo estructural del puente (Figura 30), cuenta con una longitud de 28m y con ella se fija el diseño

Figura 30

Modelo estructural del puente.



14.7.2 Área de los elementos

Tabla 22

Área de los elementos estructurales

Tipo de elemento estructural	B (mm)	H (mm)	Área (mm ²)
Losa	2600	200	52008
Mortero	400	200	8001.2
Aleta	400	25.4	10160
alma	15.875	1830	29051
Aleta	400	25.4	10160
Compuesta			109380
Viga simple			49371

Tabla 23*Inercia de las estructuras*

Tipo de elemento estructural	Y (mm)	Area*Y (mm ²)	I (mm ⁴)	I (mm ⁴)	IX (mm ⁴)	IY (mm ⁴)
Losa	2180.8	113418287	173358839	17339305098		293062664
Mortero	1980.8	15848732	26670591	1148918707		1067138
Aleta	1868.1	18979896	546235	696976834	8744519502	135466667
Alma	940.4	27319796	8107477594	20988941453	8107477594	610114
Aleta	12.7	129032	546235	25802047821	8744519502	135466667
Viga compuesta	1606	175695742		65976189912		565673249
Viga simple	940.4	46428724	Si (mm³)	41073738	2559651659	271543447
	1606		Ss (mm³)	97812999	7	
	675					

Tabla 24*Inercia de la losa*

x (mm)	y (mm)	Área (mm ²)	Y (mm)	Ix (mm ⁴)	X (mm)	Iy (mm ⁴)
-200.0	0	-5080	0	0	508000	-67733333
-200.0	25	-5080	61956	1049113.493	508000	-67733333
-7.9	25	-19606	61956	1049113.493	565649	-68038390
-7.9	1855	-19606	-330526502	-408915000000.000	565649	-68038390
-200.0	1855	-24686	-330526502	-408915000000.000	1073649	-135771724
-200.0	1880.8	-24686	11421265	19842072640	1073649	-135771724
-6.7	1880.8	-26019	11421265	19842072640	1078094	-135791486
-6.7	2080.8	-26019	-67968774	-90287788854	1078094	-135791486
-43.3	2080.8	-34687	-67968774	-90287788854	1265927	-141218572
-43.3	2280.8	-34687	157486504	252524000000.000	1265927	-141218572
43.3	2280.8	-43355	157486504	252524000000.000	1078094	-146645658
43.3	2080.8	-43355	78096465	142395000000.000	1078094	-146645658
6.668	2080.8	-44689	78096465	142395000000.000	1073649	-146665420
6.668	1880.8	-44689	420044232	571152000000.000	1073649	-146665420
200.0	1880.8	-49769	420044232	571152000000.000	565649	-214398753
200.0	1855.4	-49769	89455774	162236000000.000	565649	-214398753
7.9	1855.4	-64294	89455774	162236000000.000	508000	-214703810
7.9	25.4	-64294	89517730	162237000000.000	508000	-214703810
200	25.4	-69374	89517730	162237000000.000	0	-282437144
200	0	-69374	89517730	162237000000.000	0	-282437144
-200	0	69374	1290.361	46726530074	0	282437144

Tabla 25*Geometría de la losa*

Losa		
Configuración	Peso/dimensión	Unidades
N° de carriles cargados	1.00	NL
B aferente	2500	Mm
F'c	21	Mpa

Tabla 25 Continuación

B efectivo	2600	Mm
El	200	Mm
Bl	5000	Mm
Peso muerto de la losa	13.2	kN/m

Tabla 26*Geometría del mortero*

Mortero nivelación de las vigas		
Variable	Peso/dimensión	Unidades
elmn	200	Mm
Bmm	400	Mm
Peso muerto del mortero	1.92	kN/m

Tabla 27*Momentos y cortantes de la losa*

Momentos y cortantes de diseño		
Elemento	Momento	Unidades
Momento viga	17506	kN/m
Cortante de la viga	5079	kN

Tabla 28*Geometría viga metálica*

Viga metálica		
Tipo	Valor	Unidades
Zx	32141811	mm ³
Zy	2147297	mm ³
A	49371	mm ²
Ix	25596516597	mm ⁴
Iy	271543447	mm ⁴
Sx	27218754	mm ³
Sy	1357717	mm ³
Tipo	Valor	Unidades
m=fysx	7717	kn-m
mrx	9112	kn-m
fy	315	mpa
Numero de vigas	2	cantidad
bf	400	mm
tf	25.40	mm
hv	1830	mm
tw	15.875	mm
D	1880.8	mm
Sv	2600	mm
Lv	34000	mm
Peso muerto de las vigas + Platinas y diagonales	4.781	kn/m
Peso muerto de los equipos	0.750	kn/m

Tabla 29*Geometría del bordillo*

Geometría bordillo		
Tipo	Valor	Unidades
B	350	mm
H	250	mm
Peso muerto bordillos	2.1	kn/m

Tabla 30*Geometría sistema estructural de las bandas de seguridad*

Geometría barandas de seguridad		
Tipo	Valor	Unidades
Peso muerto barandas	0.5	kn/m

Tabla 31*Geometría capa de rodadura*

Geometría capa de rodadura		
Descripción	Peso	Unidades
er (mm)	20	Mm
B (mm)	2150	Mm
PP capa rodadura (kN/m)	1.03	kN/m

Tabla 32*Geometría de los elementos*

Descripción	Valor	Valor	Inciso norma
D/tw	118	150	6.10.2.1.2-1
tw (min) (mm)	13	0.790	6.10.2.1.2-1
bf (mi) (mm)	313	0.784	6.10.2.2-2
tf (min) (mm)	17	0.688	6.10.2.2-3
7.874	12	0.656	6.10.2.2-1
Iyc (mm⁴)	135466667		
Iyt (mm⁴)	135466667	1.00	6.10.2.2-4

Tabla 33*Factor carril*

g	0.48
g	0.70
g	0.86
g	0.70
e	700
x	1300
R	0.77
g	0.92

14.7.3 Cargas de servicio y de diseño

En las tablas 34 y 35, se muestra los valores obtenidos a través del programa SAP 2000, las cargas de servicio y de diseño, luego de la simulación

Tabla 34

Cargas de servicio

	Carga (kN/m)	factore s	Momento (kN- m)	Cortante (kN)
Cargas permanentes DC1	20.65	1	2984.0	351.1
Cargas Bordillo DC2	2.1	1	303.5	35.7
Cargas barandas DC3	0.5	1	72.3	8.5
Carpeta rodadura DW	1.03	1	149.1	17.5
Camión de diseño + carga carril	31.9	1.3	4609	566.3
Sumatoria	56		8118	979
% de uso			0.46	0.19

Tabla 35

Cargas de diseño

	Deformada (cm)	M ser II (kN-m)	V ser II (kN)
Cargas permanentes DC1	2.72	2984.0	351.1
Cargas Bordillo DC2	0.28	303.5	35.7
Cargas barandas DC3	0.07	72.3	8.5
Carpeta rodadura DW	0.14	149.1	17.5
Camión de diseño + carga carril	4.21	5991.4	736.2
Sumatoria	7.41	9500	1149
% de uso	13.60	0.54	

Tabla 36

Cargas 1 etapa constructiva

Carga viva de montaje(kN/m2)	1
Carga viva de montaje (kN)	1.6
Carga de formaleta (kN/m2)	1
Cargas Muertas (kN/m2)	5.531

Tabla 37

Cargas 2 etapa constructiva

Carga Primera etapa viga en voladizo		
L (m)	10	M
Carga viva(kN/m)	0.16	kN/m
PP vigas (kN/m)	5.531	% de uso
Momento (kN-m)	284.5	0.037

Tabla 37 Continuación

Cortante (kN)	56.906	0.011
Segunda etapa viga sola		
Cargas permanentes (kN/m)	20.651	% de uso
Carga viva montaje (kN/m)	5.000	
Momento (kN-m)	3707	0.48
Cortante (kN)	351	0.069

Tabla 38*Viga con las cargas superimpuestas*

Segunda etapa viga sola		
Cargas permanentes (kN/m)	20.651	% de uso
Carga viva montaje (kN/m)	5.000	
Momento (kN-m)	3707	0.48
Cortante (kN)	351	0.069

14.7.4 Verificación requisitos de constructibilidad

Para el chequeo de estos requisitos, tenemos la tabla 39, según el CCP-14.

Tabla 39

Verificación de los requisitos de constructibilidad

Verificación de requisitos de constructibilidad 6.10.3.2.1-1	
verificación de la resistencia de la aleta nominal con arriostramiento directo	
Rh factor de hibridez	1
phi f factor de resistencia para flexión	1
fl esfuerzo de flexión lateral de la aleta (Mpa)	0
fub esfuerzo en la aleta considerada (Mpa)	164.45
Mu	4476
Sx	0.027
$\Phi f * Rh * fy$	315
Porcentaje de uso	0.52
Verificación de requisitos de constructibilidad 6.10.3.2.1-1	
Verificación de la aleta al pandeo local	
Lb(mm)	8550
λf	7.874
λpf	9.58
λrf	14.11
Porcentaje de uso	0.68
$\Phi f * Rh * fy$	0.522
Verificación de requisitos de constructibilidad 6.10.8.2.3	
Dc Profundidad del alma a compresión (mm)	915.0
rt	95.03
Lp	2394

Tabla 39 Continuación

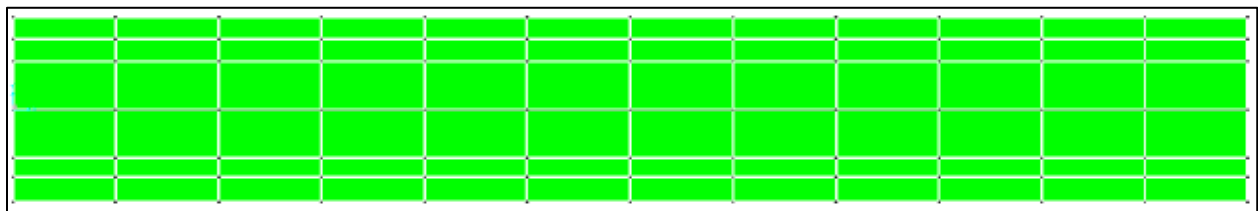
Lr	8991
Fnc (Mpa)	226.8
Porcentaje de uso	0.72
MDC /S inf (Mpa)	109.63
MDC /S sup (Mpa)	109.63
M(DC+DW) /S inf (Mpa)	96897
M(DC+DW) /S sup (Mpa)	74375
1,3M(LL+IM) /S inf (Mpa)	145869
1,3M(LL+IM) /S sup (Mpa)	61253
f aleta inferior	243
f aleta superior	136
0,95*Rh*fy	299
Porcentaje de uso aleta inferior (Mpa)	0.81
Porcentaje de uso aleta superior (Mpa)	0.45

14.7.5 Verificación de los refuerzos en la losa

A través del modelo estructural analizado en el programa SAP2000, se obtuvieron los gráficos, representados en las (Figuras 31, 32, 33 y 34).

Figura 31

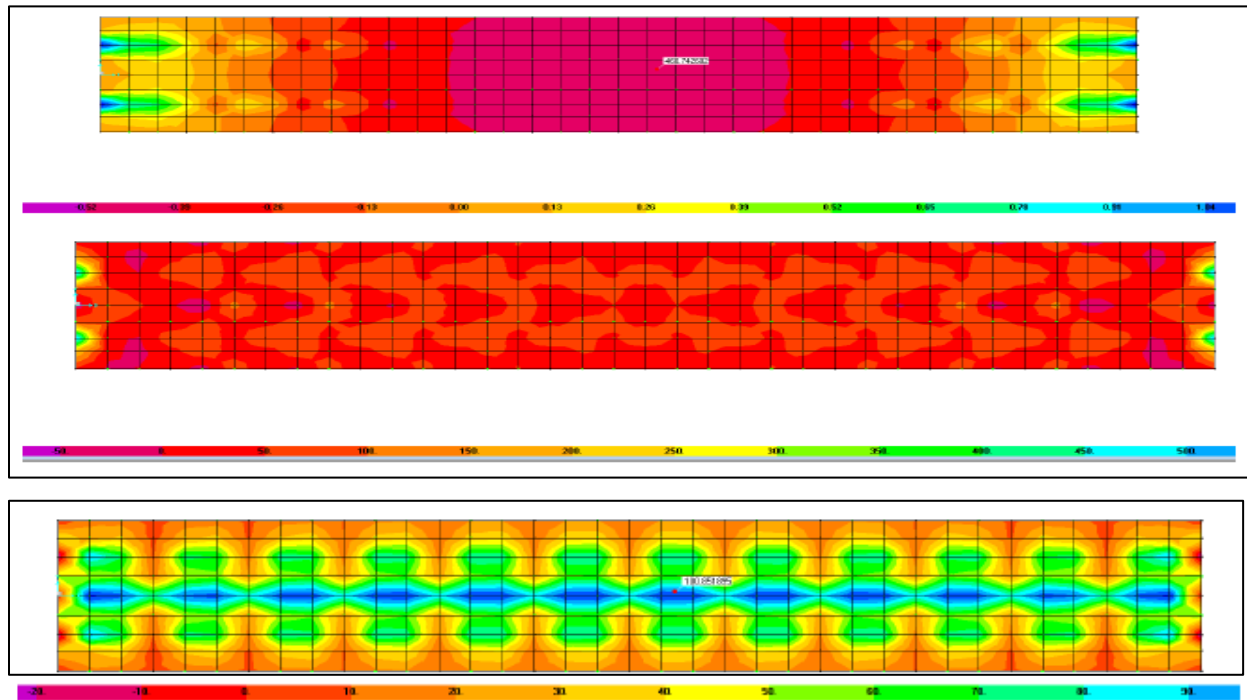
Modelación estructural de la losa



A continuación, se muestran los gráficos de los esfuerzos de las vigas con las combinaciones de diseño en el modelo estructural. En la losa de concreto con un $e=0.20$

Figura 32

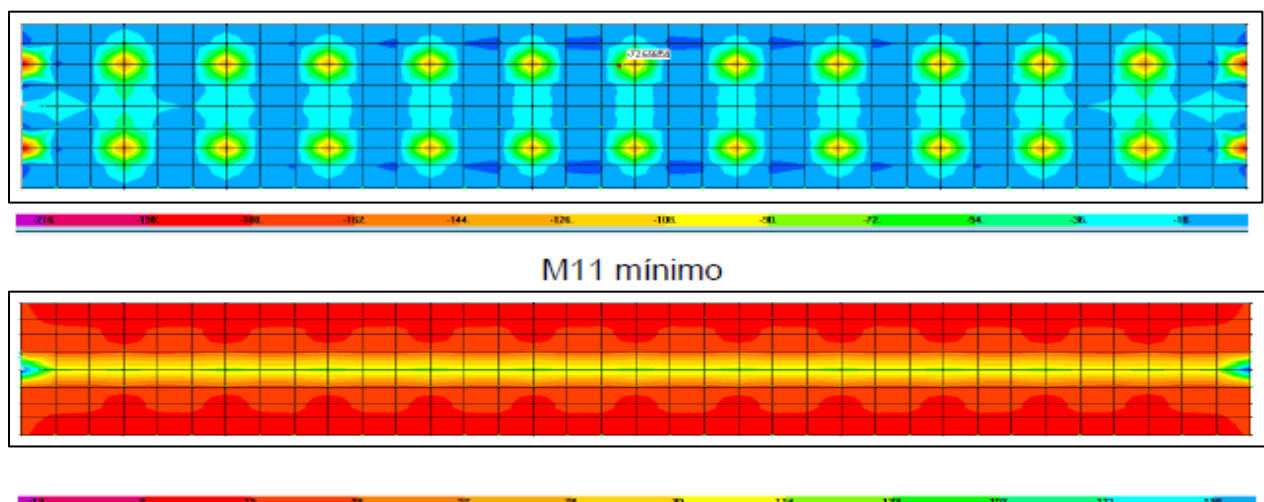
Esfuerzo F11 (N/mm), Esfuerzo F22 (kN/m) y Esfuerzo F12 (kN/m)



M11 máximo

Figura 33

Esfuerzo M11(kN-m/m) y Esfuerzo M22(kN-m/m)



M11 mínimo

M22 máximo

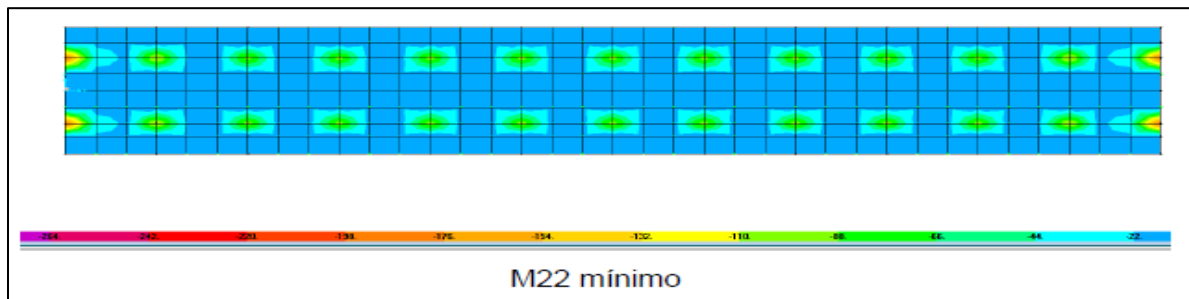
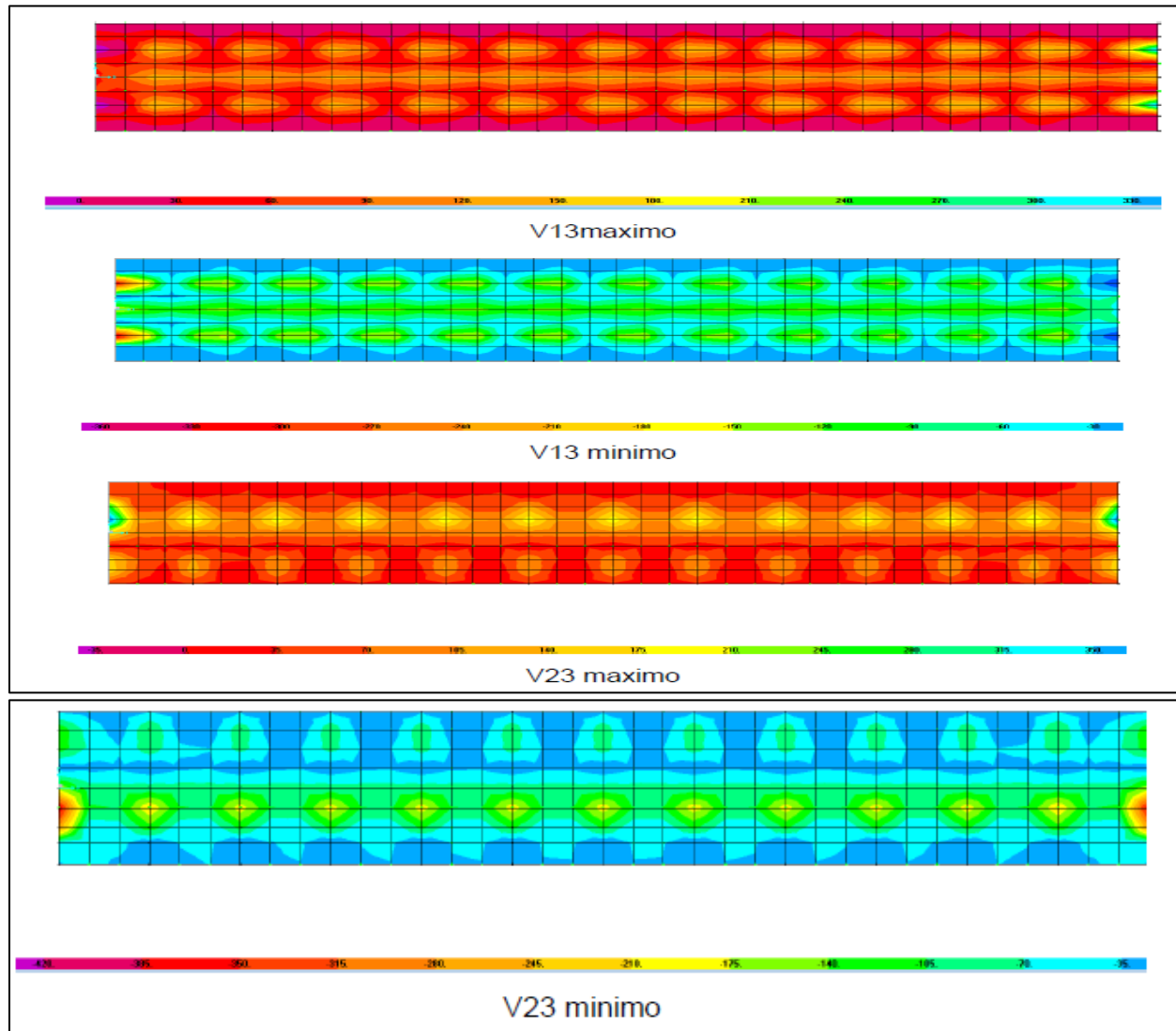
Figura 33 Continuación

Figura 34

Esfuerzo V13(kN/m) y Esfuerzo V23(kN/m)

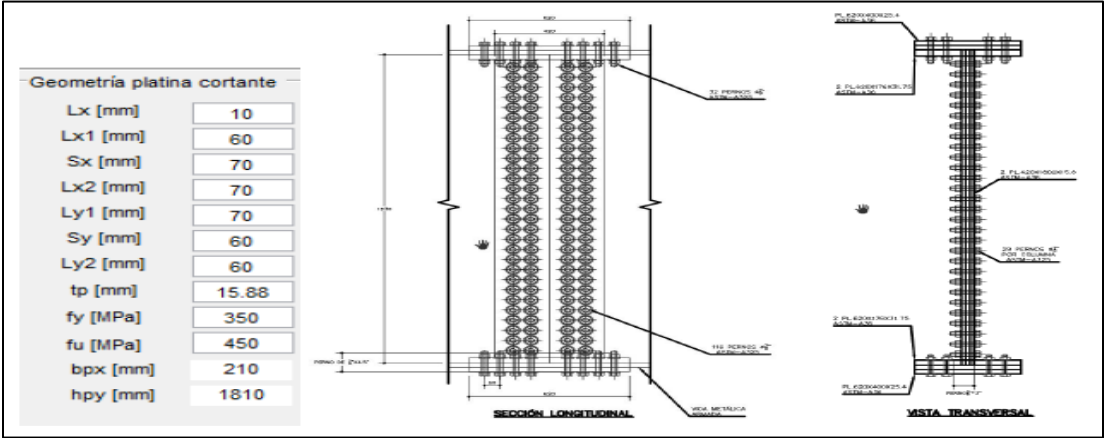
**Tabla 40***Momentos de la estructura*

Momentos	Mu [kN-m/m]	a [m]	as [cm ² /m]	# barra base	Cantida d	S [cm]	Refuerzo de base
M11 positivo	54.0	0.01554	8.8	4.0	9	11.0	# 4 a 11cm
M22 positivo	40.00	0.01136	6.4	5.0	4	25.0	# 5 a 25cm
M11 negativo	-60.00	0.01736	9.8	4.0	4	25.0	# 4 a 25cm
M22 negativo	-54.00	0.01554	8.8	4.0	9	11.0	# 4 a 11cm

14.7.6 Diseño de las conexiones de la viga

En la figura 35, se detallan las conexiones que tiene la viga, con la geometría que tiene la platina a cortante.

Figura 35
Detalle conexión viga armada



14.7.7 Capacidades y uso de las conexiones

En las (Tablas 41, 42 y 43) se muestran los valores de la resistencia de los elementos estructurales que componen el puente.

Tabla 41
Resistencias mínimas de la viga y la platina

Resistencias mínimas a cortante		
Resistencia mínima viga [kN]	1	6269
Resistencia mínima platina [kN]	2	6053
% de uso	3	0.7553

Tabla 42*Resistencia de los pernos, platinas y soldaduras*

Resistencia de los elementos			
			Cortante y % de uso
Resistencia pernos [kN]	1	5569	1.130
Resistencia platina a flexión [kN-m]	2	4142	0.140
Resistencia de la soldadura	3	935	1.830

Tabla 43*Resistencia del alma*

Resistencia a cortante			
	Viga	Cortante platina	% de uso
Resistencia al aplastamiento del alma [kN]	17765	17765	1
Resistencia a la rotura por cortante [kN]	6375	6043	1.050
Resistencia fluencia por cortante [kN]	6269	6069	1.030
Resistencia bloque cortante [kN]	6336	8389	0.760
Resistencia al desgarramiento alma [kN]	14166	13780	1.030

14.7.8 Barandas y pasamanos**Tabla 44***Cargas de baranda*

Cargas de diseño	
Cargas vivas de diseño de pasamanos CCP-14) (kN)	1.62
Cargas vivas de diseño de pasamanos NSR-10 (kN)	2.5
Altura pasamanos (m)	1.2
Momento en la base del pasamanos (kN-m)	3.0
Tensión en pernos de anclaje de pasamanos	15
Resistencia de Pernos de anclaje A307	18

14.7.9 Neoprenos

Se dispondrán 2 apoyos, cada uno en un extremo del puente, este apoyo será una lámina de acero, con dimensiones de 50x40cm con un e= 3cm

Conclusiones

En materia de análisis de los datos hidrometeorológicos obtenidos a partir de entidad regulada por el estado IDEAM, se puede concluir que, para las zonas altas en materia de precipitación, ocurre de manera más frecuentes que en el casco urbano de Villavicencio, Buenavista, Servitá y Pipiral, ocurren procesos de lluvia más intensos, en comparación con el gráfico elaborado a partir de las estaciones ubicadas la zona de la esmeralda (Acueducto) y la segunda ubicada en la estación Servitá.

Al diseñar el puente como alternativa de mejoramiento vial, se verán beneficiados los comerciantes minoritarios que residen en Pipiral, Servitá y Buenavista, ya que habrá un mayor flujo de tránsito por la zona, produciendo que la gente se interese en adquirir productos típicos de la región.

El análisis geológico y geotécnico realizado en el área revela la presencia de diferentes tipos de formaciones geológicas, como lutitas, capas rojas y terrazas, que pueden influir en la estabilidad del terreno y la aparición de deslizamientos.

A pesar de las precipitaciones, aun así, se evidenció bastante material descompuesto, material en mal estado, producto del mal manejo de los residuos sólidos. Estas veredas cuentan con servicio de aseo que opera también en el casco urbano, pero algunos residuos sólidos como escombros, neumáticos, plásticos entre otros, hacen mal manejo de desecho, produciendo que se empiece a general descomposición.

Se identificaron factores internos y externos que pueden contribuir a los deslizamientos, como el tipo de roca, el ángulo de fricción interna, la actividad sísmica, la pendiente del terreno, las condiciones climáticas, la deforestación, la meteorización y la erosión.

Según Forero (2005), expone que algunas pilas de cimentación alcanzan una profundidad de hasta casi 50 metros, esto contando con estudios de suelos precisos, ya que cuenta con suelos de rocas sedimentarias y metamórficas, estas últimas se comportan de manera adecuada cuando se trata de cimentaciones profundas, ya que su capacidad de cohesión es lo suficientemente buena pero teniendo en cuenta las arcillas que puedan estar involucradas. Es por esto que, para este diseño, se hizo un análisis con cimentaciones mayores a 10 metros, ya que no sabemos aún que tipo de roca podamos encontrar, si terrenos muy arcillosos y terrenos firmes capaces de soportar las diferentes cargas provenientes de los vehículos y cargas de sismo.

Con el balance hídrico que se presenta en la zona, nos acercamos al comportamiento de la escorrentía que se está presentando y el volumen de agua que va a los drenajes naturales, para luego desembocar al río Negro que paralelo a la zona de estudio.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Pérez, S. y Estrada Bencardino, G. (2002). Evaluación de la gestión ambiental para el proyecto vial Pipiral - Villavicencio. Vía a cielo y viaducto. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1418/
- Ávila Álvarez, G. E., Cubillos Peña, C. E., Granados Becerra, A. E., Medina Bello, E., Rodríguez Castiblanco, E. A., Rodríguez Pineda, C. E., Ruiz Peña, G. L. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789589952856>
- Burbank, D. W., and Anderson, R. S. (2001). *Tectonic Geomorphology*. Wiley-Blackwell.
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No.48.411. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>
- Cruden, D. M. and Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247, 36-75. https://www.researchgate.net/publication/269710331_CrudenDMVarnes_DJ1996_Landslide_Types_and_Processes_Transportation_Research_Board_US_National_Academy_of_Sciences_Special_Report_247_36-75
- Díaz Tamayo, J. F., Moreno Sánchez, G., y Bautista, S. Y. (2013). Exploración de minerales energéticos a partir de mediciones gamaespectrométricas para potasio, uranio y torio en el sector sur del Macizo de Quetame, Colombia. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano <https://recordcenter.sgc.gov.co/B9/22004002524675/documento/pdf/2105246751101000.pdf>
- Forero, M, E. H. (2005). Aspectos Geotécnicos para el Diseño de la Cimentación del Proyecto Viaducto Pipiral. *Memorias del Tercer encuentro de ingenieros de suelos y estructuras*, https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/aspectos_geotecnicos_diseno_cimentacion.pdf
- Hubach, E. (1945). La Formación Cáqueza, Región de Cáqueza, Oriente de Cundinamarca. *Compilacion de Estudios Geologicos Oficiales de Colombia CEGOC*, 6, 23-26.

- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge.
<https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203947111>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2004). Norma Técnica 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. definiciones. especificaciones. métodos de ensayo. condiciones de entrega. Icontec. <https://tienda.icontec.org/gp-bloques-de-suelo-cemento-para-muros-y-divisiones-definiciones-especificaciones-metodos-de-ensayo-condiciones-de-entrega-ntc5324-2004.html>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Datos Hidrometeorológicos. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Ideam. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). (2023). ¿Qué son los movimientos en masa?. Idiger. <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2023). Colombia en mapas. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Igac. <https://www.colombiaenmapas.gov.co>
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (1995). Reducción de riesgos geológicos en España. Instituto Geológico y Minero de España. .
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2012). Artículos 210 - 07, 220-07, 221 - 07, 642 -07, y 710-07, Gobernación de Risaralda. http://aplicaciones.risaralda.gov.co/Modulos/Contratacion/Archivos/1977/Cap%C3%8Dulo2_1.pdf
- Keller, E., and Pinter, N. (1996). *Active Tectonics, Earthquakes, uplift and landscape*. Prentice Hall.
- Legiscomex (2006). Productos exportados por la región de la Orinoquia. Legoscomex.com. https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/orinoquia/Expo_Rep_RegOrinoq_Produc.pdf
- Ministerio de Transporte (2015). Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 - P. Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>
- Pineda, H, C. y Sabogal, R, L. F. (2019). Análisis de la zona de remoción de masa, sector de la vereda Servitá, municipio de Villavicencio: alcance de la amenaza y Soluciones de

- ingeniería. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15618>
- Presidencia de la República. (2017). Decreto 2157 de 2017 Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199583>
- Presidencia de la República de Colombia. (2012). Decreto 19 de 2012. Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública. Diario Oficial No.48.308.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=45322>
- Presidencia de la República de Colombia. (2014). Decreto 1807 de 2014. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No.49.279.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>
- Presidencia de la República de Colombia. (2017). Decreto 2157 de 2017. Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199583>
- Pulido, G, O. y Gómez, V, L. S. (2001). Geología de la Plancha 266 - Servicio Geológico Colombiano.
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010020016/documento/pdf/0101200161101000.pdf>
- Renzoni, G. (1968). Geología del Macizo de Quetame. Geología Colombiana, 5, 75 - 128.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/41129>
- Romero, R. y Sierra, E. (2014). Análisis de Inestabilidad de talud y Rehabilitación de la vía antigua Pipiral Villavicencio PR 83 + 530. [Trabajo de grado no publicado]. Corporación Universitaria del Meta
- Servicio Geológico Colombiano (2013). *Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa, Escala 1:100.000*. Servicio

Geológico Colombiano, Dirección de Geoamenazas - Grupo de Evaluación de Amenazas por Movimientos en Masa.

Tarbuck, E. J., y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de La Tierra: una introducción a la Geología Física*. Prentice Hall.