

Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción  
(DACAC)

# **Diseño geométrico de un tramo de carretera de aproximadamente de 6.4KM, entre el municipio de Malpaisillo y la Comarca La Lechuza, en el departamento de León, 2026.**

Proyecto de Graduación para optar al título de  
Ingeniero Civil.

**Elaborado por:**

Br. Derek Elias  
Salmerón Estrada  
Carnet: 2015-03651

Br. Adrián Alejandro  
Averruz Paz  
Carnet: 2015-03481

Br. Maikel Fresbell  
Arias Blandon  
Carnet: 2015-04671

**Tutor:**

Ing. José Antonio  
Hernández.

21 de marzo del 2026  
Managua, Nicaragua



Managua 03 de marzo del 2026

**M.Sc. Marcela Carolina Galán Gaitán**  
**Directora de área de conocimiento de arquitectura y construcción**  
**Su Despacho**

Estimada M.Sc. Galán:

Reciba un fraterno saludo de mi parte.

A través de la presente me dirijo a usted para comunicarles que he revisado el proyecto de graduación titulado: **“Diseño geométrico de un tramo de carretera de aproximadamente 6.4 km entre el municipio de Malpaisillo y la comarca La Lechuza, en el departamento de León, 2026.”** elaborado por los bachilleres: Derek Elías Salmerón Estrada, Adrián Alejandro Averruz Paz, Maikel Fresbell Arias Blandon; ha concluido satisfactoriamente y doy mi aprobación para su presentación y defensa ante el tribunal examinador para cumplir con el reglamento académico vigente.

Sin más a que hacer referencia, en espera programación, me despido deseándole éxito en sus labores.

Atentamente,



---

**M.Sc. Ing. José Antonio Hernández H.**  
**Tutor**

CC: Archivo.

---



Área de Conocimiento  
Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, martes 16 de diciembre de 2025  
REF/CULM.EST/TFCE/CIV/016-2025

Derek Elías Salmerón Estrada  
Adrián Alejandro Averruz Paz  
Maikel Fresbell Arias Blandón  
Sus manos. –

Estimado (s) Bachiller (es), reciba (n) cordiales saludos.

En el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado “**DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN TRAMO DE CARRETERA DE APROXIMADAMENTE 6.4KM, ENTRE EL MUNICIPIO DE MALPAISILLO Y LA COMARCA LA LECHUZA, EN EL DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2026**” ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **MSc. José Antonio Hernández Hernández**.

La ejecución, entrega y defensa del **Proyecto de Graduación** tendrá una duración máxima de 05 meses, a partir de la fecha de aprobación de la Dirección, siendo el periodo establecido del **01 de diciembre del 2025 al 30 de abril del 2026**.

Por lo tanto, ud (s) deberá(n) cumplir en el periodo mencionado con lo siguiente:

- Desarrollar el Cronograma de Ejecución y realizar las actividades en correspondencia con el mismo, en el cual se tienen que programar los periodos de encuentros con el tutor, pre defensa y defensa.
- Presentar al tutor **semanalmente** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
- Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
- Realizar al menos una pre defensa del Trabajo Monográfico en versión borrador, según el cronograma establecido en el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)**, con el objetivo de garantizar en todos los aspectos el éxito de la defensa.

Igualmente, se le(s) recuerda que no hay prórroga para el cumplimiento de este proceso y que a través de la firma de la carta compromiso reconoce que esta es la última oportunidad para realizar la culminación de estudios.

Sin más a que hacer referencia y deseándole éxito en su **Proyecto de Graduación** para optar al título de **Ingeniero Civil**, se despide.

Atentamente,

  
Ma. Marcela Carolina Galán Gaitán  
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

## **DEDICATORIA**

Primeramente, dedico este trabajo a Dios, mi Padre celestial, quien me ha dado la fuerza y sabiduría a lo largo toda esta etapa tan importante de mi vida. Reconozco que, sin su guía y acompañamiento, no hubiera sido capaz de culminar esta carrera. A Él sea la honra y la gloria.

A mis padres, Elías Salmerón y Lea Estrada, por su amor, apoyo y sacrificio, que me brindaron la oportunidad de estudiar esta carrera. Gracias por inculcarme los valores que hoy se reflejan en la persona que soy, por acompañarme en cada proyecto, por sus consejos y sus oraciones, y por creer firmemente en mí en todo momento.

A mis tíos, Isabel Cardenal (Q.E.P.D) y José Esteban Orozco (Q.E.P.D), quienes, aunque ya no están físicamente, permanecen en mi corazón. Agradezco profundamente su apoyo incondicional, así como la confianza y los deseos de superación que siempre depositaron en mí.

A cada uno de mis maestros, quienes, con sus conocimientos, contribuyeron a mi formación, brindándome las herramientas y bases necesarias para ser un profesional íntegro.

**Br. Derek Salmerón.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme la salud, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar satisfactoriamente mi formación profesional.

A mis padres, Elías Salmerón y Lea Estrada, por su apoyo constante a lo largo de mi carrera, tanto en lo personal como en lo académico, siendo un pilar fundamental en la consecución de este logro.

A mis tíos Isabel Cardenal (Q.E.P.D.) y José Esteban Orozco (Q.E.P.D.) por el apoyo económico brindado durante mi formación, el cual fue esencial para la culminación de mis estudios.

A nuestro tutor José Hernández, por su orientación, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, así como por sus valiosas observaciones y recomendaciones, que contribuyeron significativamente a la realización de este proyecto.

A todas aquellas personas que, de una u otra manera, aportaron en mi proceso de formación y elaboración de este trabajo.

**Br. Derek Salmerón.**

## ÍNDICE

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                   | 9  |
| 2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL .....                                    | 10 |
| 3. OBJETIVOS .....                                                     | 13 |
| 3.1    Objetivo General: .....                                         | 13 |
| 3.2    Objetivos específicos:.....                                     | 13 |
| 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....                                      | 14 |
| 4.1    Macro y Micro localización: .....                               | 14 |
| 5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS.....                                           | 16 |
| 5.1    Estudio de Tránsito. ....                                       | 16 |
| 5.2    Levantamiento Topográfico. ....                                 | 18 |
| 5.3    Diseño Geométrico.....                                          | 20 |
| 6. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN           | 23 |
| 6.1    Estudio de tránsito: .....                                      | 23 |
| 6.2    Levantamiento topográfico .....                                 | 24 |
| 6.3    Diseño geométrico .....                                         | 25 |
| 7. RESULTADOS.....                                                     | 27 |
| 7.1    Estudio de Tránsito .....                                       | 27 |
| 7.1.1    Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) ..... | 29 |
| 7.2    Levantamiento Topográfico .....                                 | 31 |
| 7.2.1    Perfil longitudinal .....                                     | 32 |
| 7.3    Diseño Geométrico.....                                          | 37 |
| 7.3.1    Parámetros geométricos para el diseño.....                    | 37 |
| 7.3.1.1    Clasificación funcional.....                                | 37 |
| 7.3.2    Vehículo de diseño .....                                      | 38 |
| 7.3.3    Velocidad de diseño.....                                      | 40 |
| 7.3.4    Distancia de visibilidad de parada.....                       | 40 |
| 7.3.5    Distancia de visibilidad de rebase .....                      | 42 |
| 7.3.6    Tasas de peralte .....                                        | 42 |
| 7.3.6.1    Factor de fricción lateral (f) .....                        | 43 |
| 7.3.7    Radio mínimo.....                                             | 44 |

|          |                                                                                   |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.8    | Sobreechancho en curvas.....                                                      | 47 |
| 7.3.9    | Curvas circulares simples .....                                                   | 50 |
| 7.3.10   | Longitudes de transición .....                                                    | 52 |
| 7.3.10.1 | Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.....                  | 54 |
| 7.4      | Alineamiento vertical.....                                                        | 55 |
| 7.4.1    | Curvas Verticales.....                                                            | 56 |
| 7.4.2    | Curvas Verticales en cresta.....                                                  | 56 |
| 7.4.3    | Curvas Verticales cóncavas o en columpio.....                                     | 58 |
| 7.5      | Sección transversal.....                                                          | 60 |
| 7.5.1    | Rasante.....                                                                      | 60 |
| 7.5.2    | Pendiente transversal.....                                                        | 61 |
| 7.5.3    | Hombros o espaldones.....                                                         | 61 |
| 7.5.4    | Número de carriles .....                                                          | 62 |
| 7.5.5    | Ancho de carril .....                                                             | 62 |
| 7.6      | Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2026.....                                | 63 |
| 7.6.1    | Creación del alineamiento horizontal .....                                        | 63 |
| 7.6.2    | Cálculo de peralte.....                                                           | 66 |
| 7.6.3    | Secciones Transversales.....                                                      | 73 |
| 7.6.4    | Cálculo de elementos de curva circular simple (C-1, Alineamiento horizontal)..... | 75 |
| 7.6.5    | Cálculo de sobreechancho para curva circular simple (C-1).....                    | 77 |
| 7.6.6    | Calculo para curvas verticales (C-5) .....                                        | 82 |
| 8.       | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                                         | 84 |
| 9.       | <b>RECOMENDACIONES</b> .....                                                      | 85 |
| 10.      | <b>REFERENCIAS</b> .....                                                          | 86 |
| 11.      | <b>ANEXOS</b> .....                                                               | 87 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que aportan en gran manera al desarrollo social y económico de una comunidad es la calidad de su infraestructura vial, ya que esto permite mejor movilidad, acceso a servicios esenciales y comercio. En el municipio de Malpaisillo, el tramo que conecta con la comarca La Lechuza presenta limitaciones de accesibilidad debido a la condición actual del camino, el cual afecta en gran manera el transporte de productos agrícolas, así como el acceso de los habitantes a la zona.

En este contexto, el diseño geométrico constituye un elemento fundamental para garantizar que las vías cumplan con los parámetros de seguridad, función y eficiencia. El diseño adecuado de una carretera permite definir de manera técnica la forma, dimensiones y características físicas que aseguren el tránsito fluido y seguro de acuerdo a las necesidades presentes y futuras de la población.

El presente trabajo tiene por objeto realizar el **Diseño geométrico de un tramo de carretera de aproximadamente 6.4 km, entre el municipio de Malpaisillo y la Comarca La Lechuza, en el departamento de León**, correspondiente al año 2026. El proyecto abarca el análisis del tráfico vehicular, levantamiento topográfico del corredor y la determinación de los elementos horizontales, verticales y sección transversal. Este se desarrolla en base a lo establecido por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras SIECA 2011.

Este estudio incorpora un análisis de flujo vehicular actual, necesario para las velocidades de diseño y estimación niveles de servicio, así como un levantamiento topográfico para obtener un modelo del terreno mediante el uso de software Civil 3D. En base a lo anterior, este estudio propone una solución vial que mejore las condiciones de movilidad, reduzca riesgos de circulación y mejore el desarrollo social-económico de la zona.

## **2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL**

La infraestructura vial establece una de las bases esenciales para el funcionamiento de las economías nacionales ya que genera una amplia gama de beneficios económicos y sociales. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), las obras de inversión en infraestructura que implementan los países generan un crecimiento económico directo, por la creación de mayor capital fijo e indirecto, ya que este facilita el desarrollo de la actividad agrícola de la zona y mejora el acceso de las personas a servicios básicos en zonas rurales.

En el contexto nacional, el municipio de Malpaisillo ha sido históricamente un punto intermedio para la conexión entre el departamento de León y zonas de la región norte del país como Matagalpa y Jinotega. Su posición geográfica lo convierte en un corredor de tránsito relevante para el comercio de bienes y el transporte de personas en general. En otras palabras, El municipio de Malpaisillo incluyendo la comunidad La Lechuza dentro de las rutas comerciales tiene relevancia ya que funciona como centro logístico y productor local, creando una conexión con la producción agrícola con mercados urbanos y otras zonas del norte del país.

Recientemente, en el mes de marzo del 2024 fue inaugurada la planta de energía solar “El Jaguar” ubicado en el tramo antes mencionado. Esta planta cuenta con una extensión de 39 manzanas las cuales se suman al Sistema de Interconectividad Nacional generando 16MW, la cual el 70% abastece a Malpaisillo y al desarrollo agroindustrial en carretera San Isidro mientras que el 30% excedente es aportado a la Subestación Eléctrica Malpaisillo que está ubicada a 150 metros de la planta. A su vez, está contemplado la ampliación de esta a 20MW el cual está ubicada al costado sur de la actual nombrada como “El Jaguar número 2”.

Según la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica, el municipio de Malpaisillo es un punto ideal y estratégico por la excelente radiación solar, así como por el punto de interconexión a la red eléctrica.

El tramo en estudio es en efecto la principal vía de acceso tanto como a la planta de energía solar como a las comunidades y zonas agrícolas el cual no cuenta con un diseño y construcción. Estos elementos constituyen el marco histórico y contextual que fundamenta el análisis del tramo en estudio.

A nivel legal, el diseño geométrico vial en Nicaragua se sustenta en un marco institucional y jurídico que busca garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de la infraestructura de transporte en todo el territorio nacional. El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) es el ente rector, actuando bajo la Ley N.º 524, Ley General de Transporte Terrestre, que regula la planificación, construcción y mantenimiento de carreteras, complementada por la Ley N.º 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, que establece la obligatoriedad de evaluaciones de impacto ambiental en cada proyecto. A nivel local, las alcaldías municipales coordinan la ejecución de obras viales en sus jurisdicciones.

En el plano técnico, el país adopta el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA 2011), que establece parámetros regionales como radios mínimos de curvatura, pendientes máximas, visibilidad de parada, peraltes y anchos de carril, garantizando uniformidad y compatibilidad con estándares internacionales. Este manual es la referencia principal para proyectos de infraestructura vial, especialmente en carreteras nacionales y departamentales.

La articulación entre el MTI, las alcaldías municipales, y organismos como MARENA asegura que los proyectos viales respondan a criterios de seguridad, eficiencia y sostenibilidad, integrando estudios topográficos e hidrológicos, planes de señalización, sistemas de drenaje y medidas de mitigación ambiental. De esta manera, cada obra vial en Nicaragua no solo mejora la conectividad entre departamentos y municipios, sino que también fortalece la resiliencia de las comunidades frente a fenómenos naturales, promueve el desarrollo económico nacional y garantiza un acceso equitativo a infraestructura de calidad en zonas urbanas y rurales.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General:**

- Realizar diseño geométrico de un tramo de carretera de aproximadamente de 6.4KM, entre el municipio de Malpaisillo y la Comarca La Lechuza, en el departamento de León.

#### **3.2 Objetivos específicos:**

- Efectuar un estudio de tránsito por medio de un aforo manual, aplicando el método del MTI, para la determinación de los volúmenes de tránsito y parámetro de diseño.
- Realizar levantamiento topográfico del tramo en estudio para la determinación del relieve en el tramo de estudio.
- Realizar el diseño geométrico vial aplicando el Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de carreteras, SIECA 2011 aplicando el software Civil 3D.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 4.1 Macro y Micro localización:

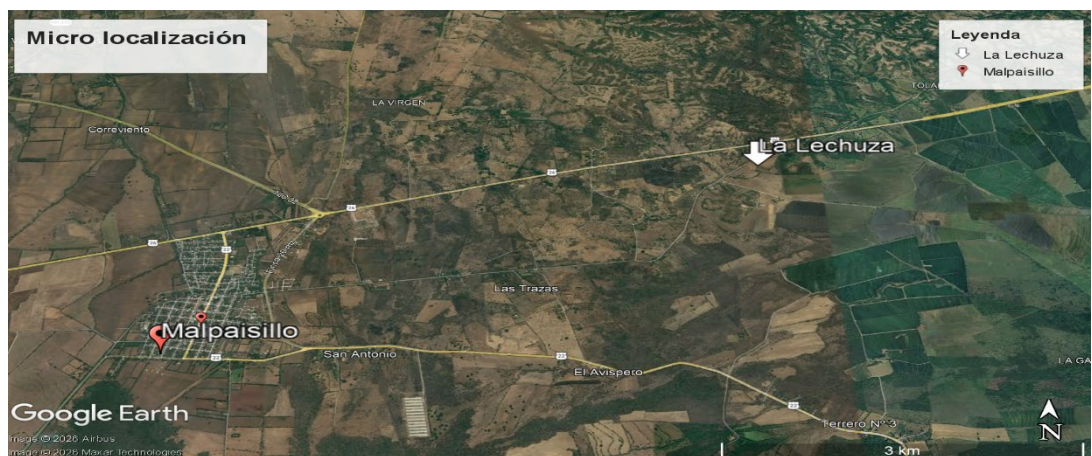
Este proyecto está localizado en el departamento de León a 118 km de la capital Managua, específicamente en el municipio de Malpaisillo. Su ubicación geográfica está entre las coordenadas 12° 35'36"N - 86°40'44"O.

Figura 1. Mapa de Macro localización León – Malpaisillo



Fuente: Google Earth Pro 2026.

Figura 2. Mapa de Micro localización Municipio Malpaisillo – Comarca La Lechuza.



Fuente: Google Earth Pro 2026.

El proyecto se caracteriza por ser de tipo infraestructura vial, específicamente en el diseño geométrico de un tramo de carretera. El proyecto en mención contiene el desarrollo de criterios y estudios específicos para su realización, tomando como base 3 elementos esenciales como lo es el estudio de tránsito, levantamiento topográfico y el diseño geométrico. Para el diseño se usó el software CivilCAD 3D 2026 siguiendo la normativa nacional.

Este proyecto beneficia directamente a las comunidades de La Lechuza, Las Trazas y la Reynaga, brinda un aporte en las rutas de comercio hacia el norte del país y de igual manera tiene un impacto positivo en la salud de las comunidades reduciendo considerablemente las cantidades de polvo presentes. Mejorará la accesibilidad hacia la zona, mejorará y optimizará el flujo vehicular, el cual tendrá un impacto directo en la economía local, reduciendo los costos de logística y tiempos de transporte. A su vez, este aportará a la seguridad de los usuarios al disminuir los riesgos que conllevan transitar sobre vías deterioradas.

Este estudio se desarrolla siguiendo lo establecido por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA 2011), asegurando que este cumpla con los parámetros técnicos necesarios para la seguridad y funcionalidad de la vía, tomando en cuenta las necesidades actuales y futuras de la población. Dado a la inauguración de la planta de energía solar “El Jaguar” y su ampliación “El Jaguar número 2” así como las actividades agrícolas de la zona, este diseño establece una base fundamental para el desarrollo económico, así como una mejoría en logística y tiempos de transporte.

## 5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

Según (Cardenas Grisales, 2013). En el proyecto integral de una carretera, el diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional con el fin de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

El diseño geométrico de esta propuesta se fundamenta en los principios de seguridad vial y eficiencia lo que garantiza el tránsito fluido y seguro basado en la normativa establecida por SIECA (2011). Este conjunto de normas ayuda a la definición de parámetros tales como: velocidades de diseño, radios de giro y pendientes máximas, así como su clasificación funcional dentro de la red vial del país. De esta manera, los fundamentos técnicos en esta propuesta se articulan con las teorías y cálculos matemáticos que respalda este proyecto.

### 5.1 Estudio de Tránsito.

Según (Mayor R y Cardenas, 2018) “un estudio de tránsito es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado”. Este tiene como finalidad evaluar la movilidad en un área determinada a partir de la recolección sistemática de datos mediante un aforo vehicular, lo que permite el cálculo de indicadores como el Transito Promedio Diario Anual (TPDA) necesarios para la determinación de parámetros de diseño.

- Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA:  
Se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2004, pp. 2-5)
  
- Anuario de tráfico:  
Los estudios sobre los volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. En otras palabras, un Anuario de tráfico son los registros de TPDA en las diferentes carreteras que conforman la red vial básica del país. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 1)
  
- Estación de mayor cobertura:  
Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día. Actualmente se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los períodos. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 8)

- Factor de ajuste:

Es un multiplicador utilizado para convertir los conteos de corta duración en una estimación de TPDA. Este ajusta las variaciones semanales o tipo de vehículo para reflejar un tráfico real anual. Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos de corta duración, se aplicarán los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 9)

## 5.2 Levantamiento Topográfico.

Una de las bases primordiales para todo diseño geométrico es sin duda alguna el levantamiento topográfico. Este se define como un estudio técnico cuyo objetivo es medir y representar gráficamente un terreno para conocer de forma precisa tanto sus características físicas como geográficas. Su finalidad es obtener planos que reflejen la forma y dimensiones, así como cualquier particularidad del área estudiada. (R. Wolf y Charles D., 2014, p. 1)

- Planimetría:

Es la representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal. (Navarro Hudiel, 2008, p. 16)

- Altimetría:

Tiene por objeto principal determinar la diferencia de alturas entre puntos situados en el terreno. (Navarro Hudiel, 2008, p. 16)

- Altiplanimetría:

Es la combinación de las anteriores por lo que se puede realizar un trabajo mediante planimetría y otro por altimetría para luego fusionar ambas. (Navarro Hudiel, 2008, p. 16)

- Alineamiento horizontal:

Es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Dicho eje horizontal está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados por sí entre curvas. (Cardenas Grisales, 2013, p. 38)

- Sección transversal:

Muestra las características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Esta varía de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 137)

- Curvas de nivel:

Es una línea que une puntos de igual elevación. Representan la localización planimétrica de las trazas de las superficies de nivel para diferentes elevaciones. (R. Wolf y Charles D., 2014, p. 497)

### 5.3 Diseño Geométrico.

El diseño geométrico define la disposición tridimensional de los elementos físicos de la vía. Los componentes principales del diseño se enumeran en alineamiento horizontal, y secciones transversales previamente definidos en el capítulo anterior de esa sección. Es acá donde se emplean los resultados obtenidos de los estudios anteriores para la determinación de las características de la vía.

- Vehículo de diseño:

Son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por carreteras regionales, por lo que, al tipificar dimensiones, pesos y características de operación, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2004, pp. 2-1)

- Velocidad de diseño:

Es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. Debe ser consistente con la topografía, el uso de tierra y la clasificación funcional de la carretera. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 55)

- Superficie:

Es una representación geométrica tridimensional de un área de terreno o, en el caso de superficies de volumen, es la diferencia o la combinación entre dos áreas de superficie. (Centro CAD Nicaragua, 2013, p. 42)

- Tasas de peralte y factor de fricción lateral:

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de los vehículos, el tipo y estado de la superficie de rodamiento y la velocidad de diseño, mientras que la sobreelevación o peralte depende de las condiciones climáticas, tipo de área, frecuencia de vehículos y condiciones de terreno. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2004, pp. 4-33)

- Radio mínimo:

Es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 87)

- Curvas circulares simples:

Son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. (Cardenas Grisales, 2013, p. 38).

- Alineamiento vertical:

Es la proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela al mismo. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante o sub rasante. (Cardenas Grisales, 2013, p. 308).

- Curvas verticales:

Es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de la longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable. (Cardenas Grisales, 2013, p. 313).

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2004, pp. 4-64)

- Tangente vertical:

Se caracterizan por su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. (Cardenas Grisales, 2013, p. 308).

- Curva en cresta:

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S). Generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 124)

- Curva cóncava o en columpio:

Por su forma, son de visibilidad completa durante el día más no así durante la noche. La longitud de carretera iluminada hacia adelante. (Cardenas Grisales, 2013, p. 380)

## **6. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

### **6.1 Estudio de tránsito:**

En el siguiente capítulo se presentan los resultados adquiridos mediante el estudio de tránsito, una de las variables principales para el diseño y las proyecciones a futuro, el cual nos permitió obtener el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), mediante conteos en el sitio de elección para la ejecución del proyecto. Se realizó la proyección del tráfico para un periodo de 15 años, determinando la tasa de crecimiento vehicular, producto interno bruto (PIB) y el crecimiento poblacional. Este estudio fue desarrollado mediante las especificaciones del MTI donde se realizó un análisis previo al aforo identificando el tipo de zona.

Los resultados obtenidos mediante el aforo vehicular durante los tres días establecidos por 12 horas diarias en el sitio de estudio se utilizan para determinar los factores de ajuste, seleccionando primero el vector geográfico correspondiente a la región Pacífico Norte y al departamento de León. Se elige la estación de corta duración más cercana al tramo de estudio, NIC-28, numero 2803, Nagarote – La Paz Centro y se optó por la estación de Corta Duración Malpaisillo – Los Zarzales, que coincide con los datos del aforo y pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 2803 Nagarote – La Paz Centro.

Con los volúmenes de tránsito diurno obtenidos mediante el aforo vehicular se determina el TPDA, multiplicando dichos valores por factores de ajuste que se encuentran establecidos en la estación de mayor cobertura seleccionada; 2803.

De los factores establecidos en el Anuario de Aforo de Trafico 2020, se utilizó el factor día para la expansión del conteo de 12 horas a 24 horas, el factor semana para los tres días a siete días y el factor expansión del TPDA. Los resultados del Transito Promedio Diario Anual se muestran en **tabla 6**.

## **6.2 Levantamiento topográfico**

En el presente capítulo se describen los procedimientos empleados para la determinación de puntos sobre la superficie terrestre a partir de mediciones basadas en tres elementos fundamentales del espacio, estas determinaciones pueden realizarse mediante la combinación de dos distancias y una elevación, o bien a partir de una distancia, una elevación y una dirección. Para la medición de distancias y elevaciones se utilizan unidades de longitud del sistema métrico decimal, mientras que las direcciones se expresan mediante unidades angulares en grados sexagesimales.

La metodología utilizada para el levantamiento topográfico fue el método tradicional que enumera el perfil longitudinal, secciones transversales y detalles, considerando el mejor para carreteras.

El levantamiento fue realizado con un equipo de estación total marca SOKKIA, una vez conocido los BM mediante el uso de los GPS, iniciando en el tramo el cual fue designado como estación 0+000, ubicado específicamente en la entrada del camino que conduce hacia la comunidad Las Lechuzas. A partir de este punto se realizó el levantamiento detallado de los elementos característicos de la vía, considerando distancias variables entre 6m y 9m a cada lado del eje, según condiciones del terreno.

Asimismo, se efectuó el levantamiento de secciones transversales a intervalos regulares de 20 metros a lo largo del eje del camino, complementándose con secciones adicionales en aquellos puntos donde las condiciones del terreno lo requieran una mayor densidad de información topográfica. El levantamiento culminó en la estación 6 + 346, ubicada en la comarca las lechuzas.

Las coordenadas geodésicas obtenidas fueron (535513.259, 1392490.566) donde estas coordenadas funcionarían como punto de partida tanto para el levantamiento planimétrico como altimétrico. estación total Sokkia SDR basic durante el levantamiento para georreferenciar el punto de inicio, conocido como BM. Para determinar las coordenadas de este punto.

**Tabla 1. Coordenadas de partida.**

| BM | Coordenadas en Y | Coordenadas en X |
|----|------------------|------------------|
| 1  | 1,392,490.57     | 535,513.26       |

Fuente: Elaboración propia.

Estas coordenadas servirán como punto de partida tanto para el levantamiento planimétrico como altimétrico.

### **6.3 Diseño geométrico**

Para el diseño geométrico de la carretera se fundamentó en la aplicación de criterios técnicos establecidos en la normativa de diseño vial, particularmente en el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, así como el uso de herramientas de diseño asistido por computadora y la verificación de resultados mediante cálculos manuales y hojas de cálculo.

En primera etapa se realizó la recopilación y análisis de la información básica del área de estudio, incluyendo datos topográficos, características del terreno, clasificación de la vía según su funcionabilidad y condiciones generales del entorno. Con base en esta información definimos los parámetros iniciales de diseño como son velocidad de diseño, peralte máximo, bombeo, ancho de carril y vehículo de diseño, de igual manera se procedió a generar el modelado digital del terreno, el cual sirvió como base para el desarrollo del diseño geométrico de la vía dentro del entorno del software Autodesk Civil 3D.

Posteriormente, se desarrolló el alineamiento horizontal mediante la definición del eje de proyecto, estableciendo tangentes y curvas horizontales necesarias para adaptar el trazado de la carretera a las condiciones topográficas del terreno. Durante esta etapa se determinaron parámetros geométricos como radios de curvatura, longitudes de curvas y sobreanchos, considerando la velocidad de diseño y los criterios establecidos en el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.

Asimismo, se realizó el diseño del peralte en las curvas horizontales, determinando la inclinación transversal de la calzada y las longitudes de transición de la calzada y las longitudes de transición requeridas. Los valores obtenidos mediante el software fueron posteriormente verificados mediante cálculos manuales y mediante el uso de hojas de cálculos en Microsoft Excel, con el propósito de corroborar la precisión y consistencia de los resultados generados.

Finalmente, mediante el uso de la herramienta del modelado del software Autodesk Civil 3D se generaron perfiles longitudinales, secciones transversales permitiendo evaluar el cumplimiento de los parámetros establecidos por el Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Estudio de Tránsito

En el siguiente capítulo se presentan los resultados adquiridos mediante el estudio de tránsito, una de las variables principales para el diseño y las proyecciones a futuro, el cual nos permitió obtener el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), mediante conteos en el sitio de elección para la ejecución del proyecto.

El propósito de esta evaluación fue analizar las condiciones del tráfico el cual consistió en la medición del flujo vehicular en ambas direcciones de la vía. Este estudio fue desarrollado mediante las especificaciones del MTI donde se realizó un análisis previo al aforo identificando el tipo de zona donde generalmente para caminos rurales el flujo vehicular es mayor de 300 TPDA, optando por la realización de conteos de corta duración, durante 12 horas continuas (6:00am - 6:00pm) por tres días consecutivos del martes 6 de enero al jueves 8 de enero del año 2026. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el aforo vehicular durante los tres días establecidos por 12 horas diarias en el sitio de estudio.

**Tabla 2. Resultados de aforo vehicular.**

| Días                            | Motocicletas         | Automóvil | Camionetas | Microbús <15pasajeros   | Vehículo liviano de 2-5 Ton. | C2    | Otros | Total   |
|---------------------------------|----------------------|-----------|------------|-------------------------|------------------------------|-------|-------|---------|
| Martes                          | 128                  | 9         | 74         | 0                       | 17                           | 8     | 0     | 236     |
| Miércoles                       | 104                  | 6         | 73         | 0                       | 19                           | 9     | 0     | 211     |
| Jueves                          | 89                   | 2         | 57         | 0                       | 16                           | 6     | 0     | 170     |
| Total, de vehículos             | 321                  | 17        | 204        | 0                       | 52                           | 23    | 0     | 617     |
| Total                           | 542                  |           |            |                         | 75                           |       | 0     | 617     |
| TPD                             | 107                  | 6         | 68         | 0                       | 17                           | 8     | 0     | 206     |
| % Tipología del vehículo/12 hrs | 51.94%               | 2.91%     | 33.01%     | 0.00%                   | 8.25%                        | 3.88% | 0.00% | 100.00% |
| Composición                     | Vehículos livianos % |           |            | Vehículo de pasajeros % | Vehículos pesados %          |       |       | 100%    |
|                                 | 87.86%               |           |            | 0.00%                   | 12.14%                       |       |       |         |

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la tabla anterior se utilizarán para determinar los factores de ajuste, seleccionando primero el vector geográfico correspondiente a la región Pacífico Norte y al departamento de León (**Ver tabla 3**). Se elige la estación de corta duración más cercana al tramo de estudio, NIC-28, numero 2803, Nagarote – La Paz Centro (**Ver tabla 4**), aunque con composiciones vehiculares diferentes a los resultados del aforo, se opta entonces por la estación de Corta Duración EMP. La Reinaga - La Reinaga, que coincide con los datos del aforo y pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 2803 Nagarote – La Paz Centro, (**Ver tabla 4**)

**Tabla 3. Vector geográfico**

| Numero   | Vector    | Código    | Nombre de región      | Departamentos                                                         |
|----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1        | R1        | PS        | Pacífico Sur          | Masaya, Granada, Carazo, Rivas.                                       |
| <b>2</b> | <b>R2</b> | <b>PN</b> | <b>Pacífico Norte</b> | <b>León, Chinandega, Managua</b>                                      |
| 3        | R3        | CN        | Central Norte         | Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales. |
| 4        | R4        | AS        | Atlántico Sur         | Regio Autónoma del Caribe Sur (RACS), Rio San Juan                    |
| 5        | R5        | AN        | Atlántico Norte       | Regio Autónoma del Caribe Norte (RACN)                                |

Fuente: (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 10)

**Tabla 4. Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020, (ECS, Nagarote – La Paz Centro).**

| EST. | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO             | Año  | Motos | Autos | Jeep   | Cmta. | Mc Bus<15 Pas | MnBus15-30 s. | Bus | Liv.2-5 Ton | C2 5 + Ton | C3 | Tx-Sx>=5e | V.A    | V.C | Otros | TPDA   |
|------|------|------------------------------|------|-------|-------|--------|-------|---------------|---------------|-----|-------------|------------|----|-----------|--------|-----|-------|--------|
| 2616 | ECS  | EMP. LA REINAGA - LA REINAGA | 2010 | 106   | 4     | 4      | 44    | 2             | 0             | 6   | 18          | 3          |    |           | 2      |     | 2     | 191    |
|      |      |                              | 2008 | 110   | 3     | 11     | 48    | 0             | 0             | 2   | 26          | 5          |    |           |        |     | 2     | 207    |
|      |      |                              | 2005 | 42    | 3     | 7      | 35    | 1             | 0             | 1   | 16          | 5          |    |           | 1      |     | 4     | 115    |
|      |      |                              | 2002 | 18    | 7     | 7      | 29    | 0             | 7             | 1   | 8           | 4          |    |           |        |     | 1     | 82     |
|      |      | EMC:1802                     |      |       |       |        |       |               |               |     |             |            |    |           |        |     |       |        |
|      |      | Tasa Crecimiento: 6.74 %     | 2020 | 203   | 8     | 8      | 84    | 4             |               | 12  | 35          | 6          |    |           | 4      |     | 4     | 368    |
|      |      |                              | Liv  |       |       | 303    |       |               | Pasaj         |     |             | 16         |    |           | Pesado |     |       | 49     |
|      |      |                              |      |       |       | 83.00% |       |               |               |     |             | 4.00%      |    |           |        |     |       | 13.00% |

Fuente: (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 291).

### 7.1. 1 Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

Con los volúmenes de tránsito diurno obtenidos mediante el aforo vehicular se determinó el TPDA, multiplicando dichos valores por factores de ajuste que se encuentran establecidos en la estación de mayor cobertura seleccionada; 2803. Nagarote – La Paz Centro y la estación de Corta Duración Malpaisillo – Los Zarzales. En la **tabla 5** se muestran los respectivos factores de ajustes del primer cuatrimestre del año 2020 enero – abril, que corresponden al periodo que se realizó el aforo vehicular

**Tabla 5. Factores de ajuste del primer cuatrimestre de la estación 2803**

|                         | Moto | Carro | Jeep | Camioneta | Micro Bus | Mini Bus | Bus  | Liv. 2-5 t. | C2   | C3   | Tx-Sx<=4 | Tx-Sx=>S | Cx-Rx<=4 | Cx-Rx=>S | V.A  | V.C  | Otros |
|-------------------------|------|-------|------|-----------|-----------|----------|------|-------------|------|------|----------|----------|----------|----------|------|------|-------|
| Factor Día              | 1.30 | 1.32  | 1.23 | 1.28      | 1.25      | 1.32     | 1.23 | 1.30        | 1.61 | 1.53 | 1.00     | 1.60     | 1.00     | 1.00     | 1.00 | 1.00 | 1.33  |
| Factor Semana           | 1.01 | 1.04  | 1.02 | 0.94      | 0.93      | 0.84     | 0.95 | 0.88        | 0.89 | 0.87 | 1.00     | 0.90     | 1.00     | 1.00     | 0.93 | 1.00 | 0.89  |
| Factor Fin de Semana    | 0.98 | 0.91  | 0.95 | 1.20      | 1.22      | 1.85     | 1.15 | 1.53        | 1.44 | 1.61 | 1.00     | 1.39     | 1.00     | 1.00     | 1.24 | 1.00 | 1.42  |
| Factor Expansión a TPDA | 1.03 | 1.09  | 0.95 | 1.04      | 0.93      | 1.11     | 0.96 | 1.05        | 0.81 | 0.91 | 1.00     | 0.96     | 1.00     | 1.00     | 1.10 | 1.53 | 0.82  |

Fuente: (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2020, p. 451).

De los factores establecidos en el Anuario de Aforo de Trafico 2020, se utilizó el factor día para la expansión del conteo de 12 horas a 24 horas, el factor semana para los tres días a siete días y el factor expansión del TPDA. Los resultados del Transito Promedio Diario Anual se muestran en la **tabla 6**.

Para determinar TPDA se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$TPDA = TP(D)_{12hrs} * Fd * Fs * Fe \quad \text{Ecuación 1}$$

$TP(D)_{(12hrs)}$  = Tránsito promedio diurno (12 horas)

Fd = Factor día.

Fs = Factor semana.

Fe= Factor expansión.

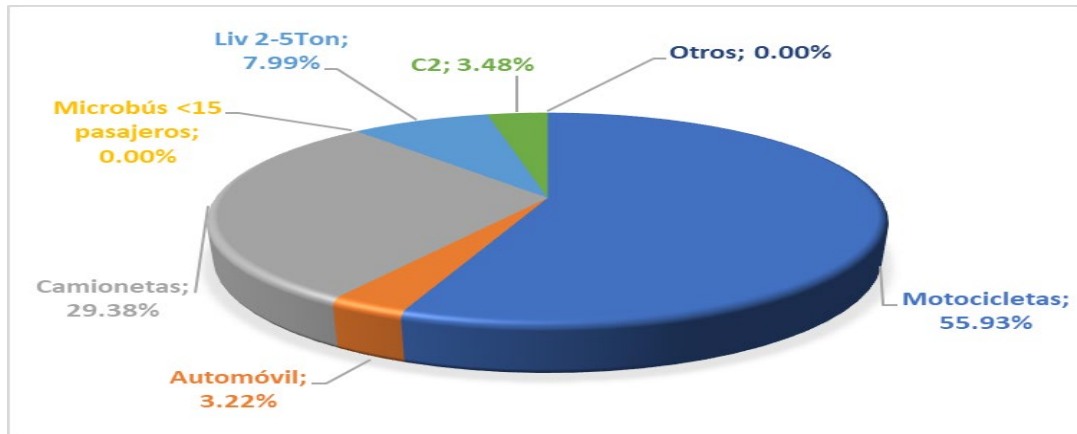
**Tabla 6. Transito Promedio Diario Anual, aplicando factores para cada tipología.**

| Descripción             | Vehículos de Pasajeros |           |            |                        | Vehículos de Carga  |       | Otro Vehículo de Carga | Total, Vehículos/ 12 horas |
|-------------------------|------------------------|-----------|------------|------------------------|---------------------|-------|------------------------|----------------------------|
|                         | Motocicletas           | Automóvil | Camionetas | Microbús <15 pasajeros | Liv 2-5Ton          | C2    | Otros                  |                            |
| TPD                     | 321                    | 17        | 204        | 0                      | 52                  | 23    | 0                      | 617                        |
| Factor día              | 1.30                   | 1.32      | 1.28       | 1.25                   | 1.30                | 1.61  | 1.33                   |                            |
| Factor Semana           | 1.01                   | 1.04      | 0.94       | 0.84                   | 0.88                | 0.89  | 0.89                   |                            |
| Factor expansión a TPDA | 1.03                   | 1.09      | 0.93       | 1.11                   | 1.05                | 0.81  | 0.82                   |                            |
| <b>TPDA</b>             | 434                    | 25        | 228        | 0                      | 62                  | 27    | 0                      | <b>776</b>                 |
| %TPDA                   | 55.93%                 | 3.22%     | 29.38%     | 0.00%                  | 7.99%               | 3.48% | 0.00%                  | 100.00%                    |
| % Vehículos Livianos    |                        | 88.53%    |            |                        | % Vehículos Pesados |       | 11.47%                 | 100.00%                    |

Fuente: Elaboración propia.

El Tránsito Promedio Diario Anual correspondiente al tramo Malpaisillo – La Lechuzita de Enero del año 2026 es de 776 vehículos por día, donde se puede apreciar en el siguiente grafico la distribución en porcentajes de cada tipología vehicular, donde los vehículos livianos representan el mayor porcentaje equivalente a un 88.53 % y los vehículos pesados un 11.47% del TPDA.

**Figura 3. Porcentaje de vehículos que circulan por el tramo en estudio**



Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico realizado en el área de estudio permitió obtener información detallada sobre las características planimétricas y altimétricas del terreno, constituyendo la base fundamental para el desarrollo del diseño geométrico del proyecto vial. Mediante el levantamiento efectuado en campo se logró determinar la ubicación espacial de los diferentes puntos del terreno, lo que permitió representar con precisión la configuración topográfica de la zona analizada.

Como resultado del trabajo de campo se obtuvieron un total de 506 puntos topográficos distribuidos a lo largo de la vía analizada. Estos datos posteriormente fueron procesados mediante el software Autodesk Civil 3D, lo que permitió generar el modelo digital del terreno, a partir de esta información obtuvimos curvas de nivel, perfil longitudinal y secciones transversales.

**Tabla 7. Formato de puntos levantados (ver tabla completa en QR)**

| Puntos | Coordenadas en Y | Coordenadas en X | Elevación | Descripción |
|--------|------------------|------------------|-----------|-------------|
| 1      | 1392491.521      | 535437.717       | 114.997   | Calle       |
| 2      | 1392488.674      | 535438.209       | 115.060   | Calle       |
| 3      | 1392485.972      | 535438.798       | 114.965   | Calle       |
| 4      | 1392499.065      | 535487.143       | 114.946   | Calle       |
| 5      | 1392493.457      | 535488.678       | 115.159   | Calle       |
| 6      | 1392496.231      | 535487.711       | 115.067   | Calle       |
| 7      | 1392506.633      | 535536.634       | 115.163   | Calle       |
| 8      | 1392503.696      | 535537.278       | 115.274   | Calle       |
| 9      | 1392500.872      | 535537.839       | 115.261   | Calle       |
| 10     | 1392513.723      | 535586.219       | 115.257   | Calle       |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Datos obtenidos en campo.



Fuente: Elaboración propia

### 7.2.1 Perfil longitudinal

Para una visualización a escala del perfil longitudinal del terreno (Estación 3+050 – 3+660), véase Figura 37 y 38, disponible en la sección de anexos.

Determinación de pendientes:

$$P1(0 + 000 - 0 + 050) = \frac{115.04 - 115.11}{50} * 100 = - 0.14\%$$

Tabla 8. Pendientes del terreno.

| Pendientes del Terreno |               |                |               |        |               |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|--------|---------------|
| Estacion Inicial       | Elevación (m) | Estacion Final | Elevación (m) | DH (m) | Pendiente (%) |
| 0+000                  | 115.04        | 0+050          | 115.11        | 50     | -0.14         |
| 0+050                  | 115.11        | 0+100          | 115.26        | 50     | -0.30         |
| 0+100                  | 115.26        | 0+150          | 115.42        | 50     | -0.32         |
| 0+150                  | 115.42        | 0+200          | 115.53        | 50     | -0.22         |
| 0+200                  | 115.53        | 0+250          | 115.56        | 50     | -0.06         |
| 0+250                  | 115.56        | 0+300          | 115.67        | 50     | -0.22         |
| 0+300                  | 115.67        | 0+350          | 115.66        | 50     | 0.02          |
| 0+350                  | 115.66        | 0+400          | 115.28        | 50     | 0.76          |
| 0+400                  | 115.28        | 0+450          | 115.43        | 50     | -0.30         |
| 0+450                  | 115.43        | 0+500          | 115.87        | 50     | -0.88         |
| 0+500                  | 115.87        | 0+550          | 116.01        | 50     | -0.28         |
| 0+550                  | 116.01        | 0+600          | 115.77        | 50     | 0.48          |
| 0+600                  | 115.77        | 0+650          | 115.61        | 50     | 0.32          |
| 0+650                  | 115.61        | 0+700          | 115.86        | 50     | -0.50         |
| 0+700                  | 115.86        | 0+750          | 115.29        | 50     | 1.14          |
| 0+750                  | 115.29        | 0+800          | 115.5         | 50     | -0.42         |
| 0+800                  | 115.50        | 0+850          | 115.56        | 50     | -0.12         |
| 0+850                  | 115.56        | 0+900          | 116.24        | 50     | -1.36         |
| 0+900                  | 116.24        | 0+950          | 116.26        | 50     | -0.04         |
| 0+950                  | 116.26        | 1+000          | 116.47        | 50     | -0.42         |
| 1+000                  | 116.47        | 1+050          | 116.34        | 50     | 0.26          |
| 1+050                  | 116.34        | 1+100          | 116.27        | 50     | 0.14          |
| 1+100                  | 116.27        | 1+150          | 116.35        | 50     | -0.16         |
| 1+150                  | 116.35        | 1+200          | 116.47        | 50     | -0.24         |
| 1+200                  | 116.47        | 1+250          | 116.16        | 50     | 0.62          |
| 1+250                  | 116.16        | 1+300          | 116.49        | 50     | -0.66         |
| 1+300                  | 116.49        | 1+350          | 116.26        | 50     | 0.46          |
| 1+350                  | 116.26        | 1+400          | 116.18        | 50     | 0.16          |
| 1+400                  | 116.18        | 1+450          | 116.39        | 50     | -0.42         |
| 1+450                  | 116.39        | 1+500          | 116.51        | 50     | -0.24         |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 (continuación). Pendientes del terreno.

| Pendientes del Terreno |               |                |               |        |               |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|--------|---------------|
| Estacion Inicial       | Elevación (m) | Estacion Final | Elevación (m) | DH (m) | Pendiente (%) |
| 1+500                  | 116.51        | 1+550          | 116.19        | 50     | 0.64          |
| 1+550                  | 116.19        | 1+600          | 116.40        | 50     | -0.42         |
| 1+600                  | 116.40        | 1+650          | 116.30        | 50     | 0.20          |
| 1+650                  | 116.30        | 1+700          | 116.39        | 50     | -0.18         |
| 1+700                  | 116.39        | 1+750          | 116.28        | 50     | 0.22          |
| 1+750                  | 116.28        | 1+800          | 116.52        | 50     | -0.48         |
| 1+800                  | 116.52        | 1+850          | 116.53        | 50     | -0.02         |
| 1+850                  | 116.53        | 1+900          | 115.72        | 50     | 1.62          |
| 1+900                  | 115.72        | 1+950          | 114.16        | 50     | 3.12          |
| 1+950                  | 114.16        | 2+000          | 115.52        | 50     | -2.72         |
| 2+000                  | 115.52        | 2+050          | 114.04        | 50     | 2.96          |
| 2+050                  | 114.04        | 2+100          | 116.46        | 50     | -4.84         |
| 2+100                  | 116.46        | 2+150          | 116.89        | 50     | -0.86         |
| 2+150                  | 116.89        | 2+200          | 117.06        | 50     | -0.34         |
| 2+200                  | 117.06        | 2+250          | 116.76        | 50     | 0.60          |
| 2+250                  | 116.76        | 2+300          | 115.70        | 50     | 2.12          |
| 2+300                  | 115.70        | 2+350          | 115.81        | 50     | -0.22         |
| 2+350                  | 115.81        | 2+400          | 116.00        | 50     | -0.38         |
| 2+400                  | 116.00        | 2+450          | 116.10        | 50     | -0.20         |
| 2+450                  | 116.10        | 2+500          | 116.25        | 50     | -0.30         |
| 2+500                  | 116.25        | 2+550          | 116.38        | 50     | -0.26         |
| 2+550                  | 116.38        | 2+600          | 116.13        | 50     | 0.50          |
| 2+600                  | 116.13        | 2+650          | 116.43        | 50     | -0.60         |
| 2+650                  | 116.43        | 2+700          | 116.45        | 50     | -0.04         |
| 2+700                  | 116.45        | 2+750          | 116.67        | 50     | -0.44         |
| 2+750                  | 116.67        | 2+800          | 116.62        | 50     | 0.10          |
| 2+800                  | 116.62        | 2+850          | 116.36        | 50     | 0.52          |
| 2+850                  | 116.36        | 2+900          | 116.84        | 50     | -0.96         |
| 2+900                  | 116.84        | 2+950          | 116.43        | 50     | 0.82          |
| 2+950                  | 116.43        | 3+000          | 116.17        | 50     | 0.52          |
| 3+000                  | 116.17        | 3+050          | 116.28        | 50     | -0.22         |
| 3+050                  | 116.28        | 3+100          | 116.98        | 50     | -1.40         |
| 3+100                  | 116.98        | 3+150          | 116.67        | 50     | 0.62          |
| 3+150                  | 116.67        | 3+200          | 115.73        | 50     | 1.88          |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 (continuación). Pendientes del terreno.

| Pendientes del Terreno |               |                |               |        |               |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|--------|---------------|
| Estacion Inicial       | Elevación (m) | Estacion Final | Elevación (m) | DH (m) | Pendiente (%) |
| 3+200                  | 115.73        | 3+250          | 115.54        | 50     | 0.38          |
| 3+250                  | 115.54        | 3+300          | 115.50        | 50     | 0.08          |
| 3+300                  | 115.50        | 3+350          | 116.24        | 50     | -1.48         |
| 3+350                  | 116.24        | 3+400          | 116.58        | 50     | -0.68         |
| 3+400                  | 116.58        | 3+450          | 116.70        | 50     | -0.24         |
| 3+450                  | 116.70        | 3+500          | 115.51        | 50     | 2.38          |
| 3+500                  | 115.51        | 3+550          | 115.58        | 50     | -0.14         |
| 3+550                  | 115.58        | 3+600          | 116.65        | 50     | -2.14         |
| 3+600                  | 116.65        | 3+650          | 116.55        | 50     | 0.20          |
| 3+650                  | 116.55        | 3+700          | 116.35        | 50     | 0.40          |
| 3+700                  | 116.35        | 3+750          | 116.22        | 50     | 0.26          |
| 3+750                  | 116.22        | 3+800          | 116.32        | 50     | -0.20         |
| 3+800                  | 116.32        | 3+850          | 116.26        | 50     | 0.12          |
| 3+850                  | 116.26        | 3+900          | 116.35        | 50     | -0.18         |
| 3+900                  | 116.35        | 3+950          | 116.17        | 50     | 0.36          |
| 3+950                  | 116.17        | 4+000          | 115.61        | 50     | 1.12          |
| 4+000                  | 115.61        | 4+050          | 115.42        | 50     | 0.38          |
| 4+050                  | 115.42        | 4+100          | 116.49        | 50     | -2.14         |
| 4+100                  | 116.49        | 4+150          | 116.47        | 50     | 0.04          |
| 4+150                  | 116.47        | 4+200          | 116.45        | 50     | 0.04          |
| 4+200                  | 116.45        | 4+250          | 116.14        | 50     | 0.62          |
| 4+250                  | 116.14        | 4+300          | 116.76        | 50     | -1.24         |
| 4+300                  | 116.76        | 4+350          | 115.60        | 50     | 2.32          |
| 4+350                  | 115.60        | 4+400          | 114.17        | 50     | 2.86          |
| 4+400                  | 114.17        | 4+450          | 114.42        | 50     | -0.50         |
| 4+450                  | 114.42        | 4+500          | 115.64        | 50     | -2.44         |
| 4+500                  | 115.64        | 4+550          | 115.70        | 50     | -0.12         |
| 4+550                  | 115.70        | 4+600          | 115.64        | 50     | 0.12          |
| 4+600                  | 115.64        | 4+650          | 115.27        | 50     | 0.74          |
| 4+650                  | 115.27        | 4+700          | 114.73        | 50     | 1.08          |
| 4+700                  | 114.73        | 4+750          | 114.60        | 50     | 0.26          |
| 4+750                  | 114.60        | 4+800          | 114.49        | 50     | 0.22          |
| 4+800                  | 114.49        | 4+850          | 114.28        | 50     | 0.42          |
| 4+850                  | 114.28        | 4+900          | 114.33        | 50     | -0.10         |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8 (continuación). Pendientes del terreno.

| Pendientes del Terreno |               |                |               |        |               |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|--------|---------------|
| Estacion Inicial       | Elevación (m) | Estacion Final | Elevación (m) | DH (m) | Pendiente (%) |
| 4+900                  | 114.33        | 4+950          | 114.46        | 50     | -0.26         |
| 4+950                  | 114.46        | 5+000          | 116.30        | 50     | -3.68         |
| 5+000                  | 116.30        | 5+050          | 114.48        | 50     | 3.64          |
| 5+050                  | 114.48        | 5+100          | 114.33        | 50     | 0.30          |
| 5+100                  | 114.33        | 5+150          | 114.27        | 50     | 0.12          |
| 5+150                  | 114.27        | 5+200          | 114.13        | 50     | 0.28          |
| 5+200                  | 114.13        | 5+250          | 112.98        | 50     | 2.30          |
| 5+250                  | 112.98        | 5+300          | 112.68        | 50     | 0.60          |
| 5+300                  | 112.68        | 5+350          | 113.68        | 50     | -2.00         |
| 5+350                  | 113.68        | 5+400          | 113.61        | 50     | 0.14          |
| 5+400                  | 113.61        | 5+450          | 111.98        | 50     | 3.26          |
| 5+450                  | 111.98        | 5+500          | 112.32        | 50     | -0.68         |
| 5+500                  | 112.32        | 5+550          | 113.36        | 50     | -2.08         |
| 5+550                  | 113.36        | 5+600          | 114.42        | 50     | -2.12         |
| 5+600                  | 114.42        | 5+650          | 115.48        | 50     | -2.12         |
| 5+650                  | 115.48        | 5+700          | 115.94        | 50     | -0.92         |
| 5+700                  | 115.94        | 5+750          | 112.99        | 50     | 5.90          |
| 5+750                  | 112.99        | 5+800          | 115.01        | 50     | -4.04         |
| 5+800                  | 115.01        | 5+850          | 114.52        | 50     | 0.98          |
| 5+850                  | 114.52        | 5+900          | 113.94        | 50     | 1.16          |
| 5+900                  | 113.94        | 5+950          | 113.72        | 50     | 0.44          |
| 5+950                  | 113.72        | 6+000          | 113.57        | 50     | 0.30          |
| 6+000                  | 113.57        | 6+050          | 113.22        | 50     | 0.70          |
| 6+050                  | 113.22        | 6+100          | 114.00        | 50     | -1.56         |
| 6+100                  | 114.00        | 6+150          | 115.53        | 50     | -3.06         |
| 6+150                  | 115.53        | 6+200          | 115.74        | 50     | -0.42         |
| 6+200                  | 115.74        | 6+250          | 115.76        | 50     | -0.04         |
| 6+250                  | 115.76        | 6+300          | 115.93        | 50     | -0.34         |
| <b>PROMEDIO</b>        |               |                |               |        | <b>-0.014</b> |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis da como resultado un promedio de 0.014%, con pendientes predominantes menores al 5%, por lo que se cataloga como un terreno plano según la SIECA 2011.

## 7.3 Diseño Geométrico

### 7.3.1 Parámetros geométricos para el diseño

#### 7.3.1.1 Clasificación funcional

De acuerdo a los criterios establecidos en el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de carreteras regionales, la clasificación funcional de la vía se determinó en función del volumen de tránsito promedio diario anual proyectado (TPDA). Para el presente estudio se estimó un TPDA proyectado de 776 vehículos por día (Vpd), valor que fue comparado con los rangos de clasificación indicados en la tabla 9.

En base a dicha comparación y considerando las características operativas de la vía, el tramo en estudio se clasifica funcionalmente como Carretera Colectora menor en zona rural.

**Tabla 9. Clasificación funcional**

| <b>FUNCIÓN</b>        | <b>CLASE DE CARRETERA(1)</b> | <b>NOMECLATURA</b> | <b>TPD(2)<br/>(AÑO FINAL DE<br/>DISEÑO)</b> | <b>Número de<br/>Carriles</b> |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| ARTERIAL<br>PRINCIPAL | AUTOPISTA                    | AA                 | >20,000                                     | 6-8                           |
|                       | ARTERIAL RURAL               | AR                 | 10,000-20,000                               | 4-6                           |
|                       | ARTERIAL URBANA              | AU                 | 10,000-20,000                               | 4-6                           |
| ARTERIAL<br>MENOR     | ARTERIAL MENOR RURAL         | AMR                | 3,000-10,000                                | 2                             |
|                       | ARTERIAL MENOR URBANA        | AMU                | 3,000-10,000                                | 2                             |
| COLECTOR<br>MAYOR     | COLECTOR MAYOR RURAL         | CMR                | 10,000-20,000                               | 4-6                           |
|                       | COLECTOR MAYOR URBANA        | CMU                | 10,000-20,000                               | 4-6                           |
| COLECTOR<br>MENOR     | COLECTOR MENOR RURAL         | CR                 | 500-3,000                                   | 2                             |
|                       | COLECTOR MENOR URBANA        | CU                 | 500-3,000                                   | 2                             |
| LOCAL                 | LOCAL RURAL                  | LR                 | 100-500                                     | 2                             |
|                       | LOCAL URBANO                 | LU                 | 100-500                                     | 2                             |
|                       | RURAL                        | R                  | <100                                        | 1-2                           |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 33)

### 7.3.2 Vehículo de diseño

Debido a las variaciones en las dimensiones de los vehículos que circulan por las carreteras, es necesario examinar y agruparlos en clases similares para el diseño geométrico de las vías. Esto se hace seleccionando un vehículo representativo para cada clase y uso, que tenga dimensiones físicas y radios de giros mínimos, pero mayores que la mayoría de los vehículos de su clase. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.37).

Basándonos en la información proporcionada por el estudio de tránsito, se plantea utilizar un camión de carga C-2 (SU), este es una opción adecuada para determinar los elementos geométricos de la vía, que representa el 3.48% de los vehículos transitables.

**Tabla 10. Dimensiones de tipos de vehículo**

| Vehículo de Diseño        | Símbolo | Altura | Ancho | Longitud | Voladizo Delantero | Voladizo Trasero | WB1   | WB2         |
|---------------------------|---------|--------|-------|----------|--------------------|------------------|-------|-------------|
| Vehículo Liviano          | P       | 1.30   | 2.10  | 5.80     | 0.90               | 1.50             | 3.40  |             |
| Camión                    | SU      | 4.10   | 2.40  | 9.20     | 1.20               | 1.80             | 6.10  |             |
| Bus                       | BUS-14  | 3.70   | 2.60  | 12.20    | 1.80               | 2.60             | 7.30  |             |
| Bus Articulado            | A-BUS   | 3.40   | 2.60  | 18.30    | 3.10               | 6.70             | 5.90  |             |
| Cabecal con Semirremolque | WB-15   | 4.10   | 2.60  | 16.80    | 0.60               | 4.50             | 10.80 |             |
| Cabecal con Semirremolque | WB-19   | 4.10   | 2.60  | 20.90    | 0.90               | 0.60             | 4.50  | 10.80       |
| Cabecal con Semirremolque | WB-20   | 4.10   | 2.60  | 22.40    | 1.20               | 1.40-0.80        | 6.6   | 13.20-13.80 |

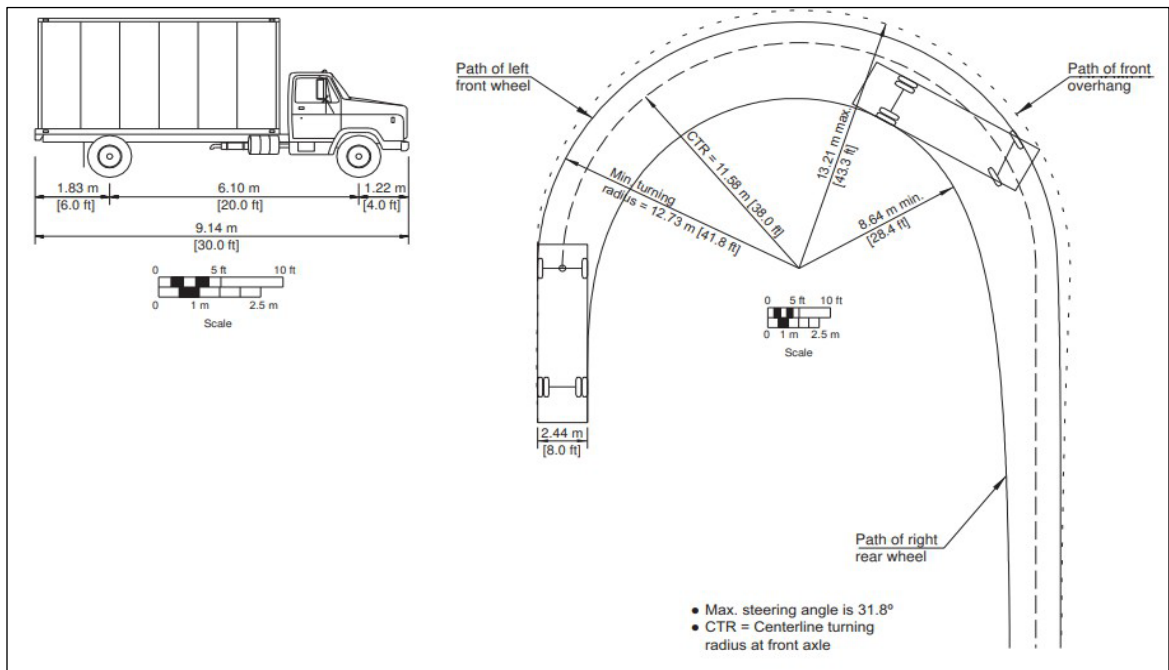
Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 38)

**Tabla 11. Radios de giro de los vehículos de diseño**

| Vehículo de Diseño        | Símbolo | Radio de Giro Mínimo de Diseño (m) | Radio en la Línea Central RMG (m) | Radio Interior Mínimo (m) |
|---------------------------|---------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Vehículo Liviano          | P       | 7.30                               | 6.40                              | 4.40                      |
| Camión                    | SU      | 12.80                              | 11.60                             | 8.60                      |
| Bus                       | BUS-14  | 13.70                              | 12.40                             | 7.80                      |
| Bus Articulado            | A-BUS   | 12.10                              | 10.80                             | 6.50                      |
| Cabecal con Semirremolque | WB-15   | 13.70                              | 12.50                             | 5.20                      |
| Cabecal con Semirremolque | WB-19   | 13.70                              | 12.50                             | 2.40                      |
| Cabecal con Semirremolque | WB-20   | 13.70                              | 12.50                             | 1.30                      |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 39).

**Figura 5. Mínima trayectoria de giro para vehículo de diseño SU.**



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee, 2004, p. 183).

### **7.3.3 Velocidad de diseño**

Debido a que la vía se clasifica como una colectora menor rural con un TPDA proyectado de 776 Vpd y con las características de un relieve plano anteriormente mencionado en el capítulo 7.2, basado en el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, página 56), donde especifica que, para carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH, optando por una velocidad de 50 KPH, esto con el fin de brindar una mayor seguridad para el conductor y el peatón. Anexar Tabla Correspondiente.

### **7.3.4 Distancia de visibilidad de parada.**

El Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, brinda diferentes valores de distancia de velocidad de parada en función de la velocidad de diseño, en la que para este caso es igual a 65 m respecto a la velocidad seleccionada anteriormente de 50 Km/h, **Ver tabla 12.**

**Tabla 12. Distancia de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.**

| VELOCIDAD (KPH)           |    | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70    | 80    | 90    | 100   | 110   | 120   |
|---------------------------|----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PENDIENTE EN ASCENSO +i%  | 12 | 17   | 29   | 41   | 56   | 72   | 90    | 110   | 131   | 154   | 179   | 205   |
|                           | 11 | 17   | 29   | 42   | 57   | 73   | 91    | 111   | 133   | 156   | 181   | 208   |
|                           | 10 | 17   | 29   | 42   | 57   | 74   | 92    | 112   | 134   | 158   | 184   | 211   |
|                           | 9  | 18   | 29   | 43   | 58   | 75   | 93    | 114   | 136   | 160   | 186   | 214   |
|                           | 8  | 18   | 30   | 43   | 58   | 75   | 94    | 115   | 138   | 162   | 189   | 217   |
|                           | 7  | 18   | 30   | 43   | 58   | 76   | 95    | 117   | 139   | 164   | 191   | 220   |
|                           | 6  | 18   | 30   | 44   | 59   | 77   | 97    | 118   | 141   | 167   | 194   | 223   |
|                           | 5  | 18   | 30   | 44   | 60   | 78   | 98    | 119   | 143   | 169   | 197   | 227   |
|                           | 4  | 18   | 30   | 44   | 60   | 79   | 99    | 121   | 145   | 172   | 198   | 231   |
|                           | 3  | 19   | 31   | 45   | 61   | 80   | 100   | 123   | 148   | 174   | 203   | 234   |
|                           | 2  | 19   | 31   | 45   | 62   | 81   | 102   | 125   | 150   | 177   | 207   | 239   |
|                           | 1  | 19   | 31   | 46   | 63   | 82   | 103   | 127   | 152   | 180   | 210   | 243   |
| CALCULADO HORIZONTAL      | 0  | 18.5 | 31.2 | 46.2 | 63.4 | 83.0 | 104.9 | 129.0 | 155.5 | 184.2 | 215.2 | 248.6 |
| REDONDEADO HORIZONTAL     | 0  | 20   | 35   | 50   | 65   | 85   | 105   | 130   | 160   | 185   | 220   | 250   |
| PENDIENTE EN DESCENSO -i% | 1  | 20   | 32   | 47   | 64   | 85   | 106   | 131   | 158   | 187   | 218   | 252   |
|                           | 2  | 20   | 32   | 48   | 65   | 85   | 108   | 133   | 161   | 191   | 223   | 257   |
|                           | 3  | 20   | 32   | 50   | 66   | 87   | 110   | 136   | 164   | 194   | 227   | 263   |
|                           | 4  | 20   | 33   | 50   | 67   | 88   | 112   | 138   | 167   | 198   | 232   | 269   |
|                           | 5  | 20   | 33   | 50   | 68   | 90   | 114   | 141   | 171   | 203   | 238   | 275   |
|                           | 6  | 20   | 35   | 50   | 70   | 92   | 116   | 144   | 174   | 207   | 243   | 281   |
|                           | 7  | 20   | 35   | 51   | 71   | 93   | 119   | 147   | 178   | 212   | 249   | 289   |
|                           | 8  | 20   | 35   | 52   | 72   | 95   | 121   | 151   | 183   | 218   | 256   | 297   |
|                           | 9  | 20   | 35   | 53   | 74   | 97   | 124   | 154   | 187   | 223   | 262   | 304   |
|                           | 10 | 21   | 36   | 53   | 75   | 99   | 127   | 158   | 192   | 230   | 270   | 314   |
|                           | 11 | 21   | 36   | 54   | 77   | 102  | 131   | 163   | 198   | 236   | 279   | 323   |
|                           | 12 | 21   | 37   | 56   | 78   | 105  | 134   | 167   | 204   | 244   | 287   | 334   |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 77).

### 7.3.5 Distancia de visibilidad de rebase

La distancia de visibilidad de rebase es equivalente a 345 m, respecto a la velocidad de diseño de 50 Km/h, **Ver tabla 13.**

**Tabla 13. Distancia de visibilidad de adelantamiento.**

| Velocidad de Diseño KPH | Distancia de Visibilidad De Adelantamiento |
|-------------------------|--------------------------------------------|
| 30                      | 200                                        |
| 40                      | 270                                        |
| 50                      | 345                                        |
| 60                      | 410                                        |
| 70                      | 485                                        |
| 80                      | 540                                        |
| 90                      | 615                                        |
| 100                     | 670                                        |
| 110                     | 730                                        |
| 120                     | 775                                        |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 79).

### 7.3.6 Tasas de peralte

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas, condiciones del terreno, tipo de zona y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Se consideran aquí las siguientes tasas:

**Tabla 14. Tasas de Peralte según tipo de terreno**

| Tipo de terreno          | Sobre elevación. |
|--------------------------|------------------|
| Áreas rurales montañosas | 10               |
| Plano                    | 8                |
| área suburbana           | 6                |
| áreas urbanas            | 4                |

El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 83).

Para la vía en estudio se definió a partir de la clasificación funcional del tipo de terreno, donde para una carretera colectora menor rural con terreno plano, el peralte máximo es 8%, siendo este el máximo razonable a utilizar.

#### 7.3.6.1 Factor de fricción lateral (f)

En la tabla 15, se presentan los valores del coeficiente de fricción lateral para las distintas velocidades que pueden utilizar en el diseño, es este caso se optó a utilizar un valor de 0.19 en dependencia de la velocidad de diseño (50 KPH) y el peralte máximo (8%).

**Tabla 15. Factores de fricción lateral.**

| VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA | Peralte Máximo = 8% |             | GRADO DE CURVATURA (Degree) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|
|                           |                           | RADIO (m)           |             |                             |
|                           |                           | CALCULADO           | RECOMENDADO |                             |
| 20                        | 0.35                      | 7.3                 | 7           | 163°42'                     |
| 30                        | 0.28                      | 19.7                | 20          | 57°18'                      |
| 40                        | 0.23                      | 40.6                | 41          | 27°57'                      |
| 50                        | 0.19                      | 72.9                | 73          | 15°42'                      |
| 60                        | 0.17                      | 113.4               | 113         | 10°08'                      |
| 70                        | 0.15                      | 167.8               | 168         | 06°49'                      |
| 80                        | 0.14                      | 229.1               | 229         | 05°00'                      |
| 90                        | 0.13                      | 303.7               | 304         | 03°46'                      |
| 100                       | 0.12                      | 393.7               | 394         | 02°55'                      |
| 110                       | 0.11                      | 501.5               | 501         | 02°17'                      |
| 120                       | 0.09                      | 667.0               | 667         | 01°43'                      |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 89)

### 7.3.7 Radio mínimo

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la fricción lateral escogida para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte de sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.87).

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación, los radios mínimos de curva horizontal se pueden calcular con la siguiente formula:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 (e_{m\acute{a}x} + f_{m\acute{a}x})} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Rmin: Radio mínimo de curva (m).

emax: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

fmax: Factor de fricción lateral.

V: Velocidad de diseño, en KPH.

Sustituyendo los valores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción lateral y la tasa de sobreelevación definida de 8%, se determina en radio mínimo para el diseño.

$$R_{min} = \frac{50^2}{127.14 (0.08 + 0.19)} = 73m$$

**Tabla 16. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.**

| VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH) | FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA | Peralte Máximo = 8% |             | GRADO DE CURVATURA (Degree) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|
|                           |                           | RADIO (m)           |             |                             |
|                           |                           | CALCULADO           | RECOMENDADO |                             |
| 20                        | 0.35                      | 7.3                 | 7           | 163°42'                     |
| 30                        | 0.28                      | 19.7                | 20          | 57°18'                      |
| 40                        | 0.23                      | 40.6                | 41          | 27°57'                      |
| 50                        | 0.19                      | 72.9                | 73          | 15°42'                      |
| 60                        | 0.17                      | 113.4               | 113         | 10°08'                      |
| 70                        | 0.15                      | 167.8               | 168         | 06°49'                      |
| 80                        | 0.14                      | 229.1               | 229         | 05°00'                      |
| 90                        | 0.13                      | 303.7               | 304         | 03°46'                      |
| 100                       | 0.12                      | 393.7               | 394         | 02°55'                      |
| 110                       | 0.11                      | 501.5               | 501         | 02°17'                      |
| 120                       | 0.09                      | 667.0               | 667         | 01°43'                      |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 89).

La máxima pendiente relativa varía con la velocidad de diseño para proveer longitudes largas en velocidades altas y longitudes cortas en velocidades bajas. Estos valores se muestran en la tabla 17, donde para una velocidad de 50 Km/h la máxima pendiente relativa es de 0.65%.

**Tabla 17. Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento.**

| Velocidad de Diseño KPH | Máxima Pendiente Relativa (%) | Talud Máximo Relativo Equivalente |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 20                      | 0.80                          | 1:125                             |
| 30                      | 0.75                          | 1:133                             |
| 40                      | 0.70                          | 1:143                             |
| 50                      | 0.65                          | 1:154                             |
| 60                      | 0.60                          | 1:167                             |
| 70                      | 0.55                          | 1:182                             |
| 80                      | 0.47                          | 1:200                             |
| 90                      | 0.44                          | 1:213                             |
| 100                     | 0.41                          | 1:227                             |
| 110                     | 0.38                          | 1:244                             |
| 120                     | 0.35                          | 1:263                             |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 94)

El ancho de la calzada que gira es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno, es conveniente el uso de un factor de ajuste para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la tabla 53, se muestran los factores de ajuste recomendada por el Manual (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004)y en la que se seleccionó un valor de “bw” igual a uno, ya que solo un carril presenta rotación.

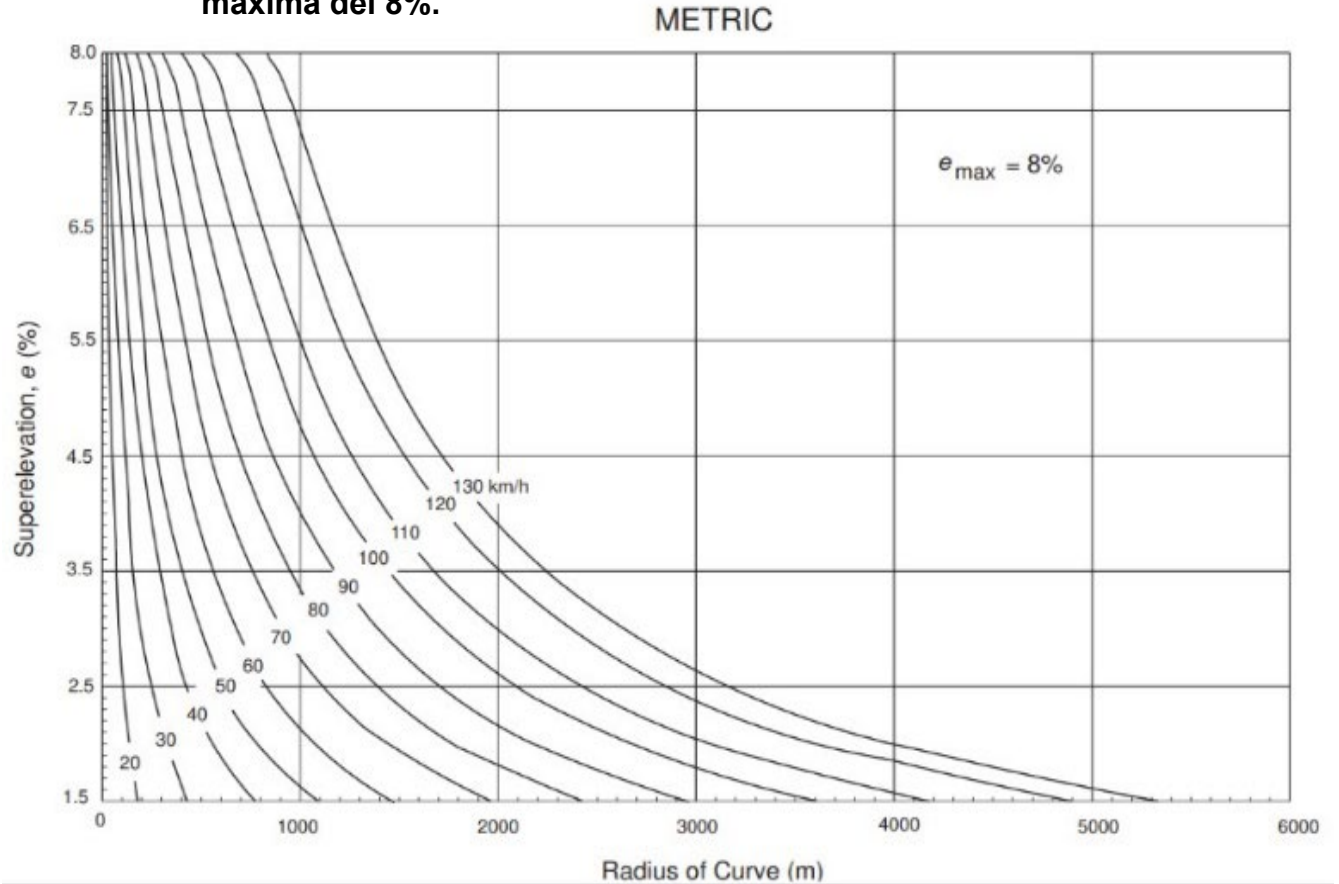
**Tabla 18. Factores de ajuste por el número de carriles rotados.**

| Metric                            |                              |                                                                | U.S. Customary                    |                              |                                                                |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Number of Lanes Rotated,<br>$n_1$ | Adjustment Factor,*<br>$b_w$ | Length Increase Relative to One-Lane Rotated,<br>$(= n_1 b_w)$ | Number of Lanes Rotated,<br>$n_1$ | Adjustment Factor,*<br>$b_w$ | Length Increase Relative to One-Lane Rotated,<br>$(= n_1 b_w)$ |
| 1                                 | 1.00                         | 1.0                                                            | 1                                 | 1.00                         | 1.0                                                            |
| 1.5                               | 0.83                         | 1.25                                                           | 1.5                               | 0.83                         | 1.25                                                           |
| 2                                 | 0.75                         | 1.5                                                            | 2                                 | 0.75                         | 1.5                                                            |
| 2.5                               | 0.70                         | 1.75                                                           | 2.5                               | 0.70                         | 1.75                                                           |
| 3                                 | 0.67                         | 2.0                                                            | 3                                 | 0.67                         | 2.0                                                            |
| 3.5                               | 0.64                         | 2.25                                                           | 3.5                               | 0.64                         | 2.25                                                           |

Fuente: (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004, p. 208)

La siguiente figura muestra los valores mínimos de R para varias combinaciones de peralte y velocidades de diseño para cada uno de los cinco valores de índice de peralte máximo (es decir, para una gama completa de condiciones de diseño comunes). ( (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004, p. 189)).

**Figura 6. Tasas de peralte de diseño para una tasa de peralte máxima del 8%.**



Fuente: (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004, p. 183)

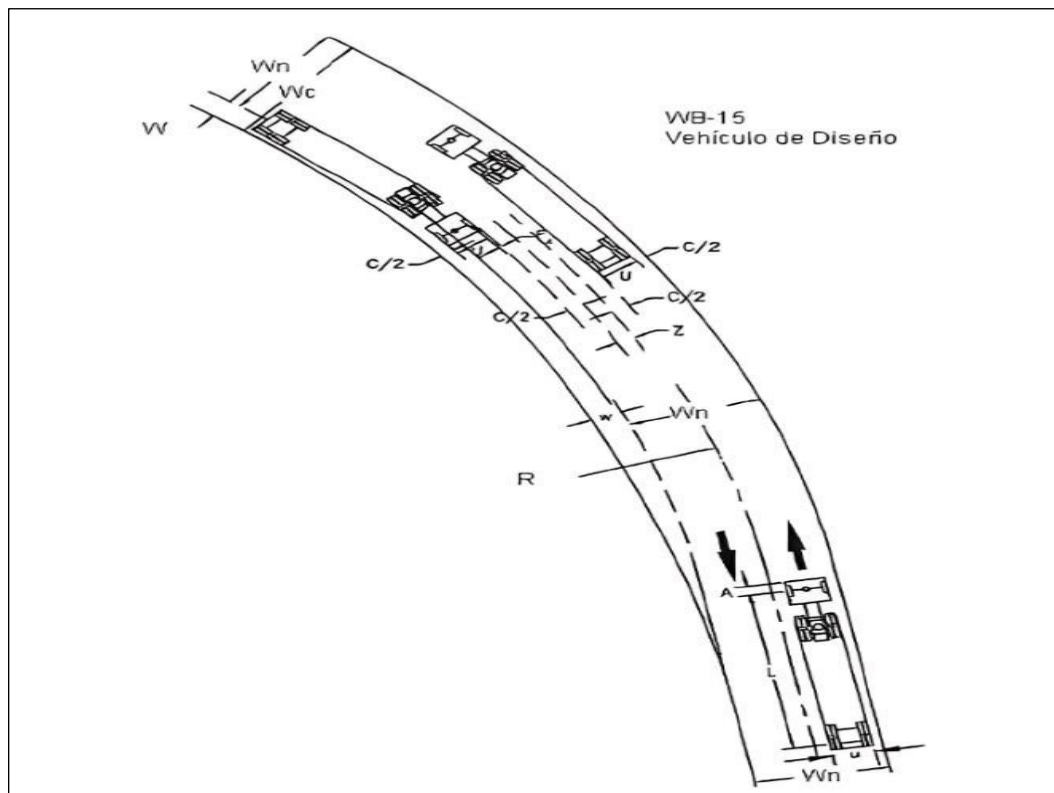
### 7.3.8 Sobreancho en curvas

En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.<sup>a</sup> ed.), 2011, p. 109).

El sobreancho necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva  $W_c$  y el utilizado en una recta,  $W_n$ . El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

- ✓ Ancho de huella de cada vehículo que se encuentra o pasa.
- ✓ Separación lateral por vehículo,  $C$ .
- ✓ Ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril o carriles interiores,  $FA$ .
- ✓ Ancho a tener en cuenta por dificultades durante la conducción en curvas,  $Z$ .

**Figura 7. Componente del sobreancho en curvas de carretera.**



Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.<sup>a</sup> ed.), 2011, p. 109)(Calcular sobreancho con formula del SIECA 2004).

La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva, WC es:

$$S = n [R - (R^2 - L^2)^{1/2}] + 0.10V/R^{1/2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

n: Número de carriles de la superficie de rodamiento.

R: Radio de curvatura

L: Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros

V: Velocidad de diseño de la carretera, KM.

Ancho de huella del vehículo en curva (U):

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

U: Ancho de la huella del vehículo en curva, m.

R: Radio de la curva o giro, m.

Li: Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos, m.

C: Claro lateral (asumido de 0.6, 0.75 y 0.9 m).

Ancho de saliente frontal en el carril inferior (FA).

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

A: Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, m.

R: Radio de la curva, m.

L: Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, m.

Ancho recomendable (Z).

$$Z = 0.1 \left( \frac{V}{\sqrt{R}} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

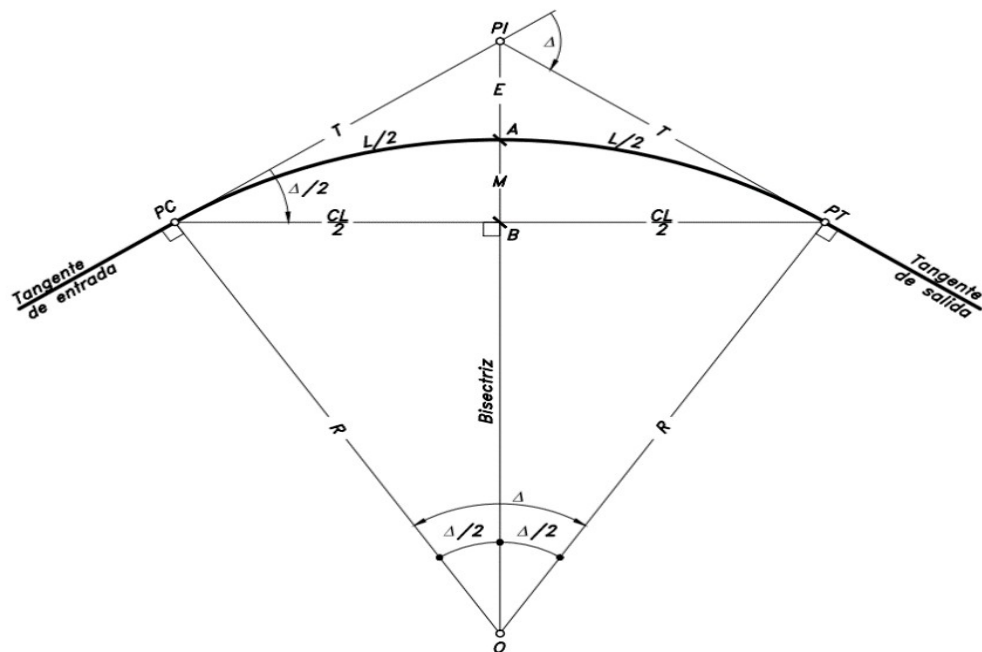
V: Velocidad de diseño, Km/h.

R: Radio de la curva, m.

### 7.3.9 Curvas circulares simples

Las curvas horizontales simples son arcos de circunferencia de un solo radio que une dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares. (Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 38).

**Figura 8. Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple.**



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 39.

PI: Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC: Principio de curva, punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT: Principio de tangente, punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O: Centro de la curva circular.

$\Delta$ : Ángulo de deflexión de las tangentes, ángulo de deflexión principal, es igual al ángulo central subtendido por el arco PC-PT.

R: Radio de la curva circular simple.

T: Tangente o subtangente, distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

L: Longitud de curva circular, distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

CL-CM: Cuerda larga, distancia en línea recta desde el PC al PT.

E: Externa, distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M: Ordenada media, distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda B.

- **Ecuaciones de una curva circular simple.**

$$ST = R * \tan \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$CM = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$E = \frac{R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R \quad \text{Ecuación 9}$$

$$M = R * \left( 1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

- **Estacionamientos de una curva circular simple.**

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - ST \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\text{Est PI} = \text{Est PC} + Lc/2 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PC} + Lc \quad \text{Ecuación 13}$$

### 7.3.10 Longitudes de transición

El diseño de longitudes de transición en el alineamiento horizontal incluye la transición del bombeo normal de una sección transversal en tangente al peralte necesario en curva, así como las curvas de transición entre tangente y curva circular. La transición del peralte se divide en dos distancias: la Distancia de Bombeo (DB), donde el peralte negativo se convierte en 0%, y la Distancia de Transición (Ls), donde el peralte 0% se convierte en el peralte necesario para la curva. Se busca que esta transición sea imperceptible para el conductor por razones de seguridad y comodidad.

Cuando no se utiliza una curva de transición, se aplica una "transición de tangente a curva", donde la Distancia de Transición se distribuye entre la tangente y la curva circular, con una proporción aceptable para todas las velocidades y anchos rotados. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.92).

La longitud mínima de transición, debe determinarse de la siguiente manera:

$$L_S = \frac{(wn_1)ed}{\Delta} (b_w) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Ls: Mínima longitud de transición del peralte, m.

$\Delta$ : Máxima pendiente relativa, porcentaje.

n1: Número de carriles a rotar.

bw: Factor de ajuste por número de carriles rotados.

W: Ancho de un carril de tráfico.

ed: Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

La longitud mínima de Transición del Bombeo en la tangente ( $D_b$ ) está determinada por la cantidad de pendiente transversal negativa y la tasa de pendiente a la que se gira hasta el valor 0%. Para obtener un borde suave en la orilla del pavimento, la tasa de pendiente debe ser igual a la tasa de pendiente relativa utilizada para definir la longitud de transición del peralte y puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D_b = \frac{e_{NC} * L_r}{e_d} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$D_b$ : Distancia de bombeo.

$e_{NC}$ : Pendiente transversal, porcentaje.

$e_d$ : Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

$L_r$ : Longitud mínima de transición del peralte, m.

#### **7.3.10.1 Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral**

En la siguiente tabla se establece un radio máximo de 148 m para el requerimiento de curvas en espirales de transición para una velocidad de 50 km/h.

**Tabla 19. Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.**

| Metric              |                    | U.S. Customary     |                     |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Design speed (km/h) | Maximum radius (m) | Design speed (mph) | Maximum radius (ft) |
| 20                  | 24                 | 15                 | 114                 |
| 30                  | 54                 | 20                 | 203                 |
| 40                  | 95                 | 25                 | 317                 |
| 50                  | 148                | 30                 | 456                 |
| 60                  | 213                | 35                 | 620                 |
| 70                  | 290                | 40                 | 810                 |
| 80                  | 379                | 45                 | 1025                |

Fuente: (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004, p. 217)

#### **7.4 Alineamiento vertical**

El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje.

**Tabla 20. Pendiente máxima para carretera colectoras rurales.**

| TIPO DE TERRENO | Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH |    |    |    |    |    |    |     |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|
|                 | 30                                                                 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Plano           | 7                                                                  | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  | 6  | 5   |
| Lomerío         | 10                                                                 | 10 | 9  | 8  | 8  | 7  | 7  | 6   |
| Montañoso       | 12                                                                 | 11 | 10 | 10 | 10 | 9  | 9  | 8   |

Fuente: (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011).

### 7.4.1 Curvas Verticales

En términos generales existen curvas verticales en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las curvas convexas se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las curvas en cóncavas conforme a la distancia que se alcanza a iluminar los faros del vehículo de diseño (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 123)

### 7.4.2 Curvas Verticales en cresta.

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia. Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, m.

S: Distancia de visibilidad, m.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1: Altura del ojo sobre la superficie del camino, m.

h2: Altura del objeto sobre la superficie, m.

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces  $L = KA$ , o de otra forma,  $K = L/A$ . En la tabla 21 y 22 se muestran los valores calculados para K.

K: Longitud (m), por porcentaje de A.

**Tabla 21. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.**

| Velocidad de diseño KPH | Distancia de visibilidad de parada (m) | Tasa de curvatura vertical K |             |
|-------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------|
|                         |                                        | Calculada                    | Para Diseño |
| 20                      | 20                                     | 0.6                          | 1           |
| 30                      | 35                                     | 1.9                          | 2           |
| 40                      | 50                                     | 3.8                          | 4           |
| <b>50</b>               | <b>65</b>                              | <b>6.4</b>                   | <b>7</b>    |
| 60                      | 85                                     | 11                           | 11          |
| 70                      | 105                                    | 16.8                         | 17          |
| 80                      | 130                                    | 25.7                         | 26          |

Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.<sup>a</sup> ed.), 2011, p. 125)

**Tabla 22. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento.**

| Velocidad de diseño KPH | Distancia de visibilidad de adelantamiento (m) | Tasa de curvatura vertical K |
|-------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
|                         |                                                | Para Diseño                  |
| 30                      | 200                                            | 46                           |
| 40                      | 270                                            | 84                           |
| <b>50</b>               | <b>345</b>                                     | <b>138</b>                   |
| 60                      | 410                                            | 195                          |
| 70                      | 485                                            | 272                          |
| 80                      | 540                                            | 338                          |

Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.ª ed.), 2011, p. 125)

#### **7.4.3 Curvas Verticales cóncavas o en columpio.**

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

El Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva,  $L$ , es menor que la distancia de visibilidad iluminada,  $S$ , se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$L$ : Longitud de curva vertical en columpio, m. 85

$S$ : Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

$A$ : Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

Cuando S es mayor que L, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2S - \left( \frac{120 + 3.5S}{A} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A. Con estas bases se ha preparado la tabla 23 que se muestra a continuación.

**Tabla 23. Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio**

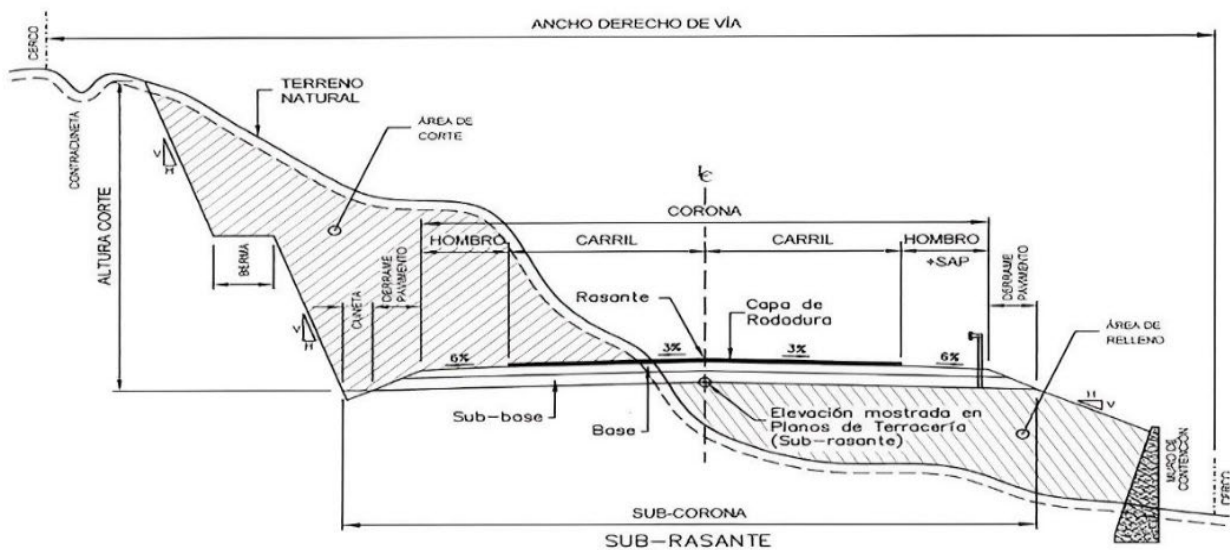
| Velocidad de diseño KPH | Distancia de visibilidad de parada (m) | Tasa de curvatura vertical K |             |
|-------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------|
|                         |                                        | Calculada                    | Para Diseño |
| 20                      | 20                                     | 2.1                          | 3           |
| 30                      | 35                                     | 5.1                          | 6           |
| 40                      | 50                                     | 8.5                          | 9           |
| <b>50</b>               | <b>65</b>                              | <b>12.2</b>                  | <b>13</b>   |
| 60                      | 85                                     | 17.3                         | 18          |
| 70                      | 105                                    | 22.6                         | 23          |
| 80                      | 130                                    | 29.4                         | 30          |

Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.ª ed.), 2011, p. 127)

## 7.5 Sección transversal

La sección transversal de una carretera o calle, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones depende de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados. (Secretaría de Integración Económica (SIECA), 2011, p. 137)

**Figura 9. Sección transversal**



Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.ª ed.), 2011, p. 138)

### 7.5.1 Rasante

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan.

### 7.5.2 Pendiente transversal

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad.

En base al (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011 cuadro 4.1, página 139), especifica que para una colectora rural las pendientes transversales de calzadas varían entre 1.5 y 2%, para este diseño se opta por utilizar un bombeo del 2%.

### 7.5.3 Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación y que, en conjunto con estos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes.

En la tabla se muestran los valores mínimos para una colectora menor rural y que se encuentran comprendidos entre 1.2 y 1.60 m. Para parámetros de este diseño se implementará hombros de 1.50m.

**Tabla 24. Anchos mínimos de hombros y aceras.**

| Tipo de Carretera |                         | Acceso     | Tipo de Superficie | Ancho de Hombros (m) |           | Ancho de Aceras (m) |
|-------------------|-------------------------|------------|--------------------|----------------------|-----------|---------------------|
|                   |                         |            |                    | Internos             | Externos  |                     |
| AA                | Autopista               | Controlado | Alto               | 1.0 – 1.5            | 2.5 - 3.0 |                     |
| AR                | Arterial Rural          | Controlado | Alto               | 1.0 - 1.5            | 2.5 – 3.0 | 2.0                 |
| AU                | Arterial Urbana         | Controlado | Alto               | 1.0 - 1.5            | 2.5 – 3.0 | 2.0                 |
| AMR               | Arterial Menor Rural    | -          | Alto               | -                    | 1.2 - 1.6 | 1.0 – 1.2           |
| AMU               | Arterial Menor Urbana   | -          | Alto               | -                    | 1.2 - 1.6 | 1.0 – 1.2           |
| CMR               | Colector Mayor Rural    | Controlado | Alto               | 1.0 -1.5             | 2.5 – 3.0 | 1.2 – 2.0           |
| CMU               | Colector Mayor Urbana   | -          | Alto               | 0.5 – 1.0*           | 1.2 - 1.8 | 1.2 – 1.5           |
| CR                | Colectoras Menor Rural  | -          | Intermedio         | -                    | 1.2 - 1.6 | 1.0 – 1.2           |
| CS                | Colectoras Menor Urbana | -          | Intermedio         | -                    | 1.2 – 1.6 | 1.0 – 1.2           |
| LR                | Local Rural             | -          | Intermedio         | -                    | 0.75-1.6  | 1.0 – 1.2           |
| LU                | Local Urbano            | -          | Intermedio         | -                    | 0.75-1.6  | 1.0 – 1.2           |
| R                 | Rural                   | -          | Bajo               | -                    | -         | -                   |

Fuente: (Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.ª ed.), 2011, p. 142).

#### 7.5.4 Número de carriles

Los carriles se refieren a las divisiones o unidad de medida transversal, en una carretera o autopista que se utilizan para dirigir y separar el flujo de vehículos permitiendo mantener el tráfico organizado y seguro.

En el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, cuadro 1.3, página 33) se encuentra especificado de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera el número de carriles. Para este diseño se designan dos carriles el cual proporcionarán una correcta fluidez del tránsito vehicular.

#### 7.5.5 Ancho de carril

. El ancho y el número de carriles de la calzada se determinó con base en un análisis de capacidad y nivel de servicio deseado al final del período de diseño. Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 3.00m, 3.30m, 3.50m y 3.65m, respectivamente. (Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 406). El ancho de carril seleccionado es de 3.00m para ambos sentidos, ofreciendo la garantía de la seguridad y comodidad suficiente para los vehículos que transitan en la

**Tabla 25. Parámetros para el diseño**

| PARAMETRO DE DISEÑO                |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| CLASIFICACIÓN FUNCIONAL            | COLECTORA MENOR RURAL |
| VEHICULO DE DISEÑO                 | C-2 O SU              |
| VELOCIDAD DE DISEÑO                | 50 Kph                |
| DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA | 65 m                  |
| DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE | 345 m                 |
| PERALTE MAXIMO                     | 8%                    |
| RADIO MINIMO                       | 73 m                  |
| GRADO MAXIMO DE CURVATURA          | 15° 70'               |
| PENDIENTE MAXIMA                   | 6%                    |
| PENDIENTE TRANSVERSAL              | 2%                    |
| NUMERO DE CARRILES                 | 2                     |
| ANCHO DE CARRIL                    | 3.00 m                |

Fuente: Elaboración propia.

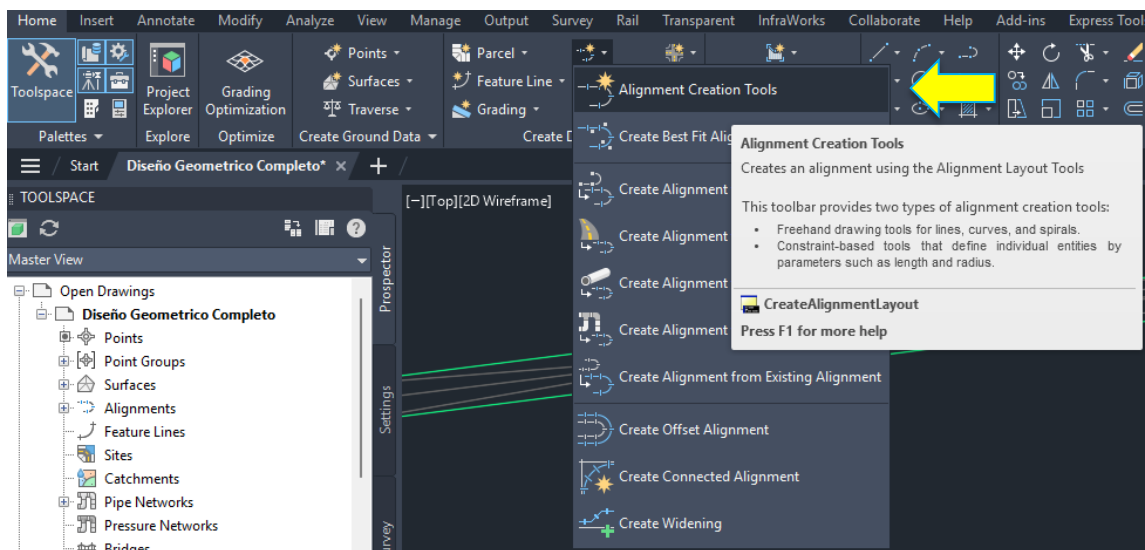
## 7.6 Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2026

Este proceso incluyó un exhaustivo análisis de las condiciones topográficas, la aplicación de los estándares y normativas pertinentes, así como la optimización de los parámetros de diseño para garantizar la seguridad y eficiencia del diseño.

### 7.6.1 Creación del alineamiento horizontal

1. Para acceder a la herramienta de dibujo de alineamientos, nos dirigimos a la pestaña **"Alignment o alineamiento"** en la cinta de opciones, donde se despliega una lista de funciones. Seleccionamos la opción **"Herramienta de creación de Alineamiento"**. Las propiedades asignadas al tramo de alineamiento incluyen una velocidad de 50 km/h y una sobreelevación del 8.00%, establecidas conforme al criterio de diseño definido en las Normas de Diseño SIECA 2011, (Ver figura 9).

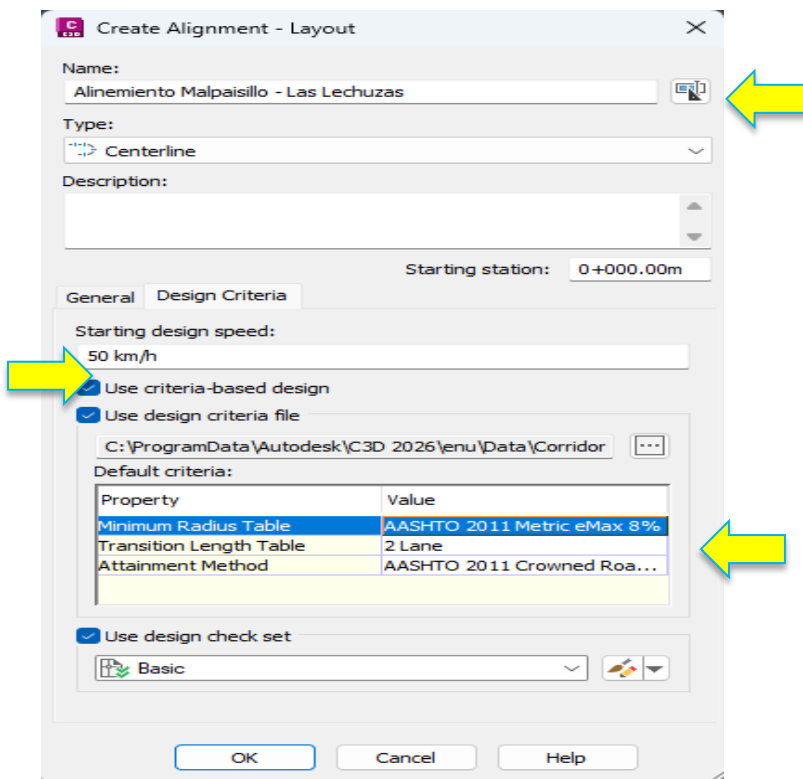
**Figura 10. Alineamiento horizontal (Configuración preliminar).**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

2. Posteriormente establecemos los criterios de diseños anteriormente determinados, como la velocidad de diseño y el peralte máximo para el trazado de las curvas horizontales simples.

**Figura 11. Alineamiento horizontal (Configuración preliminar).**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

3. Seleccionar la herramienta “Tangente sin curvas” y generar curvas a través de la opción “Empalme de curva libre, entre dos entidades”, previamente se debe de establecer un radio de curva mayor al mínimo recomendado según la norma SIECA 2011 (mayor a 73 m), (Ver figura 11).

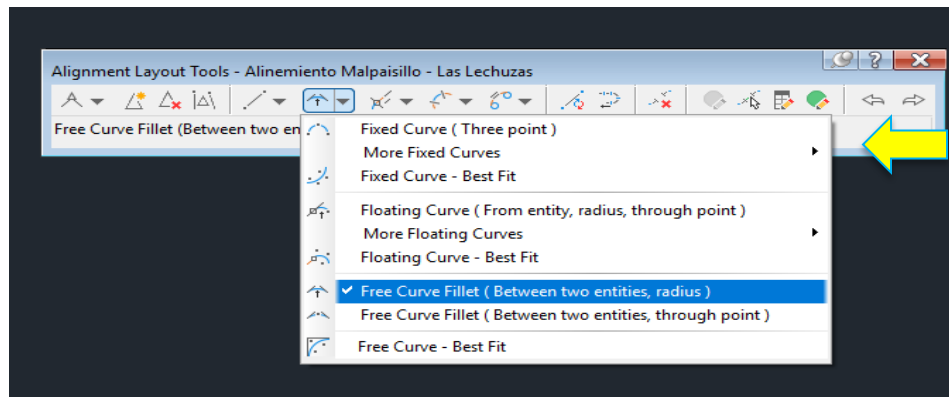
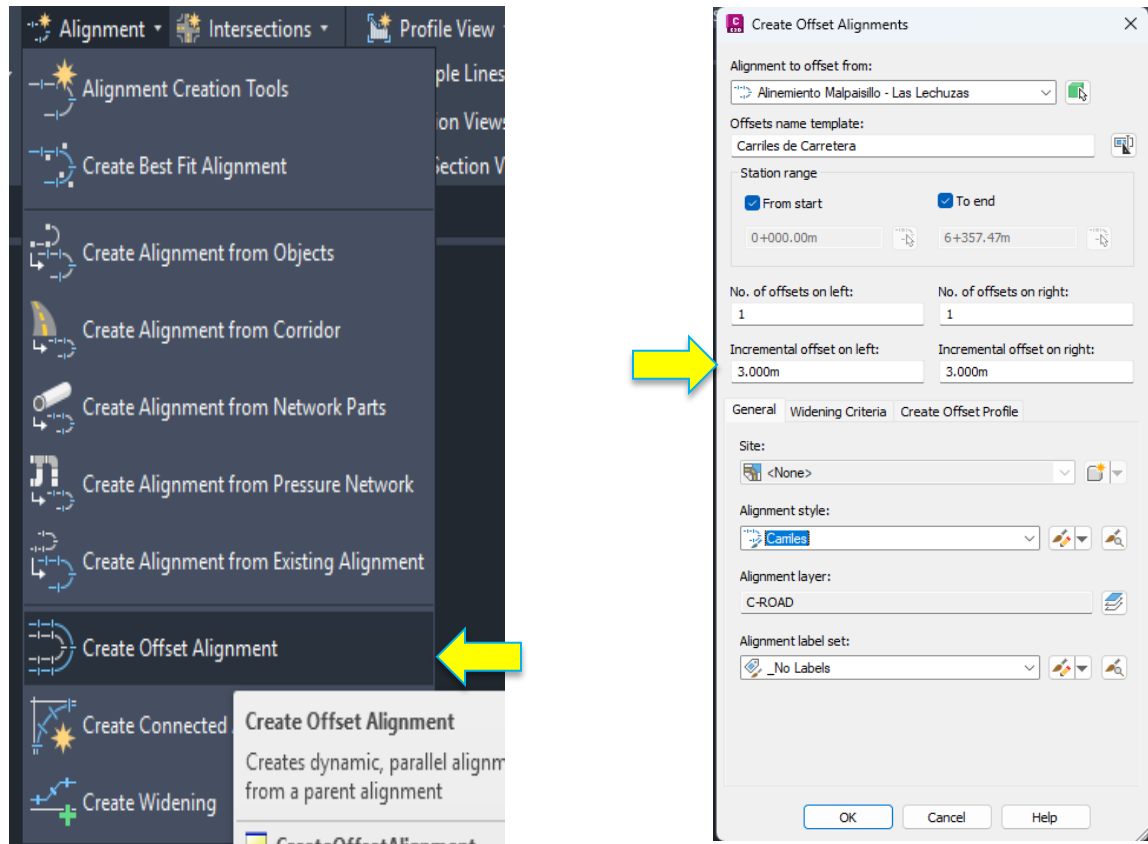


**Figura 12. Alineamiento (creación de curvas horizontales).**

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

4. Para la creación del desfase, se selecciona la herramienta “**Crear desfase de alineación**” para luego dar valores de desfase (3.00m por carril) sin sobreancho, (**Ver figura 25**). Previamente se selecciona el desfase interno permitiendo desplegar la opción “**Añadir ensanchamiento**”, (Los sobreanchos deben de distribuirse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada y en la misma longitud para la transición de peralte a 2/3 sobre la tangente y 1/3 sobre la curva), (Ver figura 15).

**Figura 13. Alineamiento (Creación de desfase).**

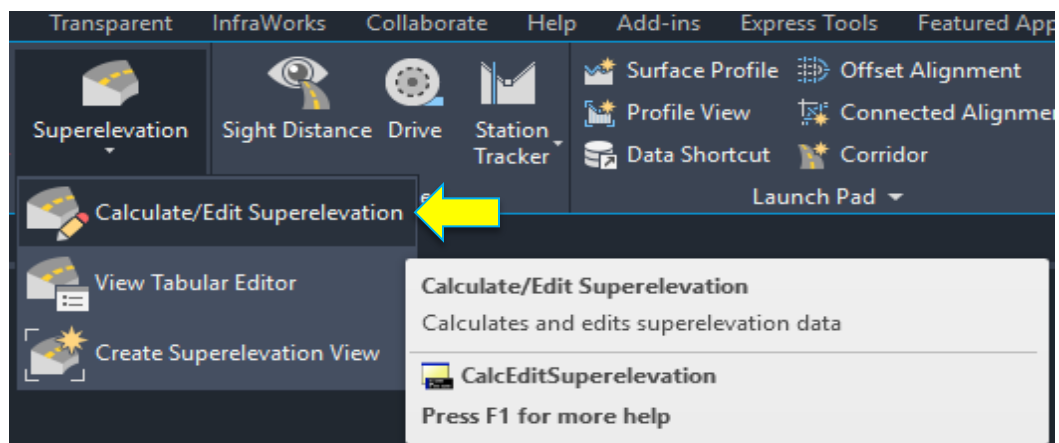


Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

### 7.6.2 Cálculo de peralte

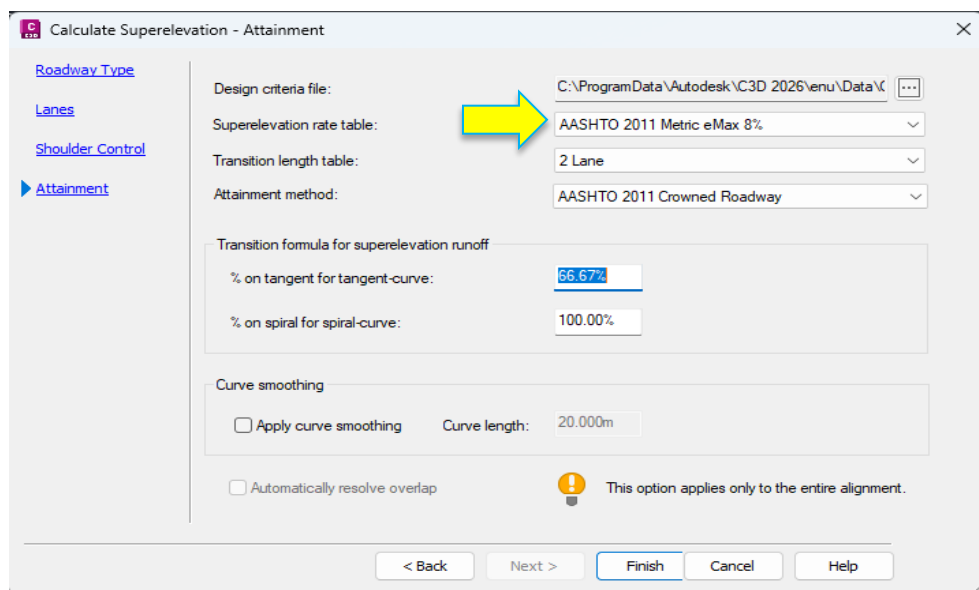
1. Se selecciona el eje central del alineamiento para abrir la ventana de herramientas **"Peralte"**, (Ver figura 16-17) desde la cual se establecerán los parámetros necesarios para calcular el peralte correspondiente a cada curva.

**Figura 14. Cálculo de Peralte**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

**Figura 15. Cálculo de Peralte (Parámetros).**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

**Figura 16. Cálculo de Peralte (Comparación).**

| Superelevation Curve  | Start Station | End Station | Length  | Overlap | Left Outside Should... | Left Outside Lane | Right Outside Lane | Right Outside Shou... |
|-----------------------|---------------|-------------|---------|---------|------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Begin Normal Shoulder | 3+681.92m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -4.00%                |
| Curve.3               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Transition In Region  | 3+940.18m     | 3+974.00... | 33.818m |         |                        |                   |                    |                       |
| End Normal Shoulder   | 3+940.18m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -4.00%                |
| Runout                | 3+951.09m     | 3+962.00... | 10.909m |         |                        |                   |                    |                       |
| End Normal Crown      | 3+951.09m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -2.00%                |
| Level Crown           | 3+962.00m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 0.00%              | 0.00%                 |
| Runoff                | 3+962.00m     | 3+974.00... | 12.000m |         |                        |                   |                    |                       |
| Level Crown           | 3+962.00m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 0.00%              | 0.00%                 |
| Begin Curve           | 3+970.00m     |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Reverse Crown         | 3+972.91m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 2.00%              |                       |
| Begin Full Super      | 3+974.00m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.20%            | 2.20%              |                       |
| Transition Out Region | 4+167.15m     | 4+200.97... | 33.818m |         |                        |                   |                    |                       |
| Runoff                | 4+167.15m     | 4+179.15... | 12.000m |         |                        |                   |                    |                       |
| End Full Super        | 4+167.15m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.20%            | 2.20%              | 2.20%                 |
| Reverse Crown         | 4+168.24m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 2.00%              | 2.00%                 |
| End Curve             | 4+171.15m     |             |         |         |                        |                   | 2.00%              |                       |
| Level Crown           | 4+179.15m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 0.00%              | 0.00%                 |
| Runout                | 4+179.15m     | 4+190.06... | 10.909m |         |                        |                   |                    |                       |
| Level Crown           | 4+179.15m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | 0.00%              | 0.00%                 |
| Begin Normal Crown    | 4+190.06m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -2.00%                |
| Begin Normal Shoulder | 4+200.97m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -4.00%                |

| Superelevation Curve  | Start Station | End Station | Length  | Overlap | Left Outside Should... | Left Outside Lane | Right Outside Lane | Right Outside Shou... |
|-----------------------|---------------|-------------|---------|---------|------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Curve.1               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Curve.2               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Curve.3               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Curve.4               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Curve.5               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Transition In Region  | 5+202.76m     | 5+237.42... | 34.667m |         |                        |                   |                    |                       |
| End Normal Shoulder   | 5+202.76m     |             |         |         | -4.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -4.00%                |
| Runout                | 5+213.59m     | 5+224.42... | 10.833m |         |                        |                   |                    |                       |
| End Normal Crown      | 5+213.59m     |             |         |         | -2.00%                 | -2.00%            | -2.00%             | -4.00%                |
| Level Crown           | 5+224.42m     |             |         |         | 0.00%                  | 0.00%             | -2.00%             | -4.00%                |
| Runoff                | 5+224.42m     | 5+237.42... | 13.000m |         |                        |                   |                    |                       |
| Level Crown           | 5+224.42m     |             |         |         | 0.00%                  | 0.00%             | -2.00%             | -4.00%                |
| Begin Curve           | 5+233.09m     |             |         |         |                        |                   |                    |                       |
| Reverse Crown         | 5+235.26m     |             |         |         | 2.00%                  | 2.00%             | -2.00%             |                       |
| Begin Full Super      | 5+237.42m     |             |         |         | 2.40%                  | 2.40%             | -2.40%             |                       |
| Transition Out Region | 5+497.77m     | 5+532.44... | 34.667m |         |                        |                   |                    |                       |
| Curve.6               |               |             |         |         |                        |                   |                    |                       |

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

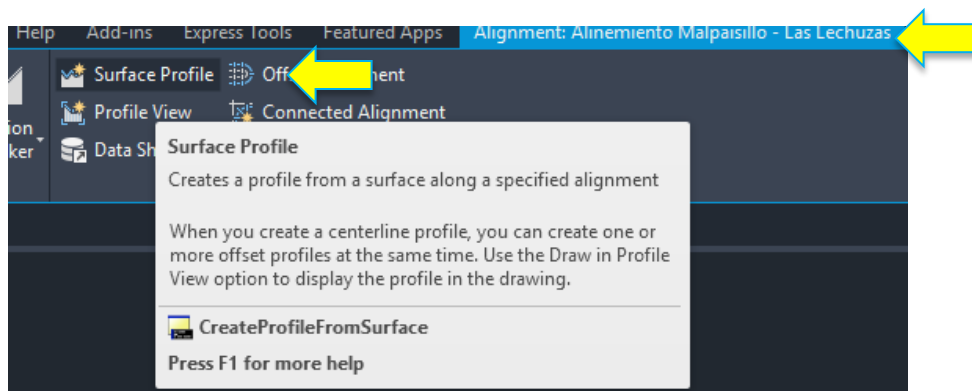
**Tabla 26. Elementos de curvas horizontales.**

| ELEMENTO DE CURVAS |              |        |         |          |               |        |        |            |        |       |       |          |          |          |
|--------------------|--------------|--------|---------|----------|---------------|--------|--------|------------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|
| N° DE CURVA        | V. DE DISEÑO | DELTA  |         |          | R<br>(CALCULA | T      | LC     | GC         | CM     | E     | M     | PC       | PI       | PT       |
|                    |              | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS |               |        |        |            |        |       |       |          |          |          |
| C1                 | 50 KM/H      | 18     | 34      | 6        | 236.06        | 38.59  | 76.50  | 4° 51' 24" | 76.17  | 3.13  | 3.09  | 3+286.21 | 3+324.80 | 3+362.71 |
| C2                 | 50 KM/H      | 69     | 56      | 19.24    | 181.55        | 126.98 | 221.61 | 6° 18' 44" | 208.11 | 40.00 | 32.78 | 3+416.31 | 3+543.28 | 3+637.92 |
| C3                 | 50 KM/H      | 14     | 59      | 27.17    | 768.8         | 101.15 | 201.15 | 1° 29' 28" | 200.58 | 6.63  | 6.57  | 3+970    | 4+071.15 | 4+171.15 |
| C4                 | 50 KM/H      | 32     | 29      | 55.8     | 467.15        | 136.16 | 264.97 | 2° 27' 11" | 261.44 | 19.44 | 18.66 | 4+528.29 | 4+664.44 | 4+793.26 |
| C5                 | 50 KM/H      | 23     | 29      | 13.26    | 656.25        | 136.42 | 269.01 | 1° 44' 46" | 267.13 | 14.03 | 13.74 | 5+233.09 | 5+369.52 | 5+502.11 |
| C6                 | 50 KM/H      | 20     | 58      | 4.27     | 457.88        | 84.73  | 167.56 | 2° 30' 11" | 166.63 | 7.77  | 7.64  | 5+899.21 | 5+983.95 | 6+066.78 |

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

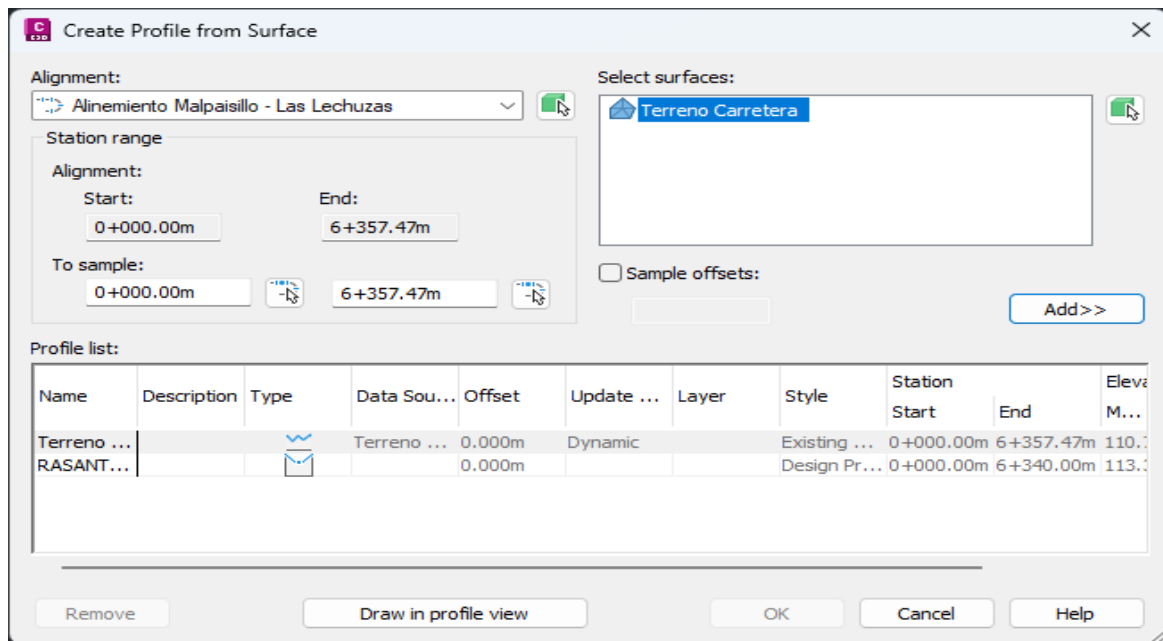
**Figura 17. Creación del perfil de superficie.**

- Primeramente, seleccionamos nuestro alineamiento, ejecutamos la opción **“Perfil de superficie o Surface Profile”** se desplegará una ventana el cual requiere de una configuración previa a la visualización del perfil, **“Añadiendo”** primeramente la superficie en la **“Lista de perfiles”**, (Ver figura 19).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

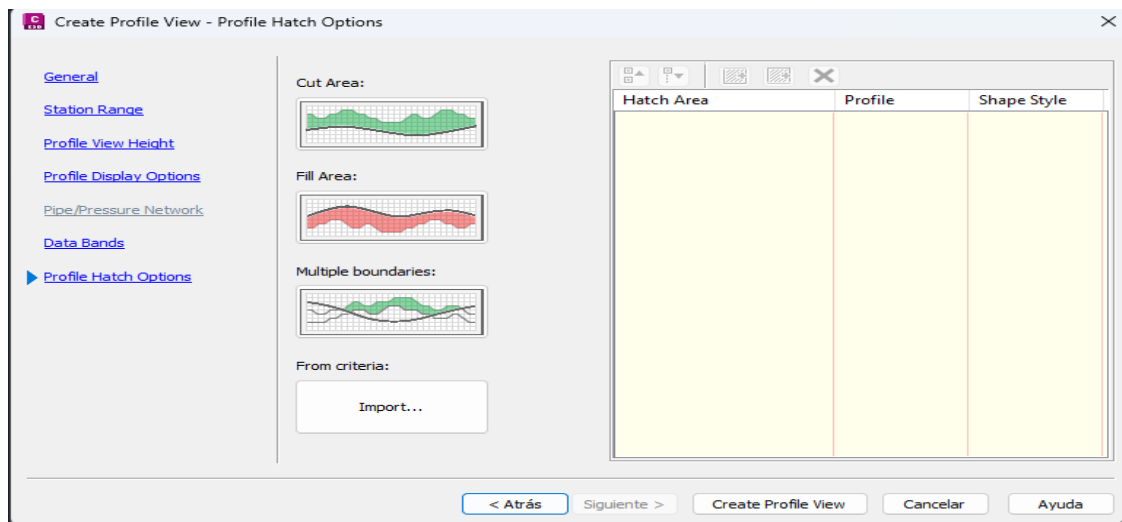
**Figura 18. Crear perfil a partir de superficie**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

- El siguiente paso fue la configuración para crear la visualización del perfil, el cual estará a criterio del diseñador, modificando la opción **“General, Intervalos de P.K, Altura de visualización del perfil, Guitarras y Opciones de sombreado”**, (Ver figura 21).

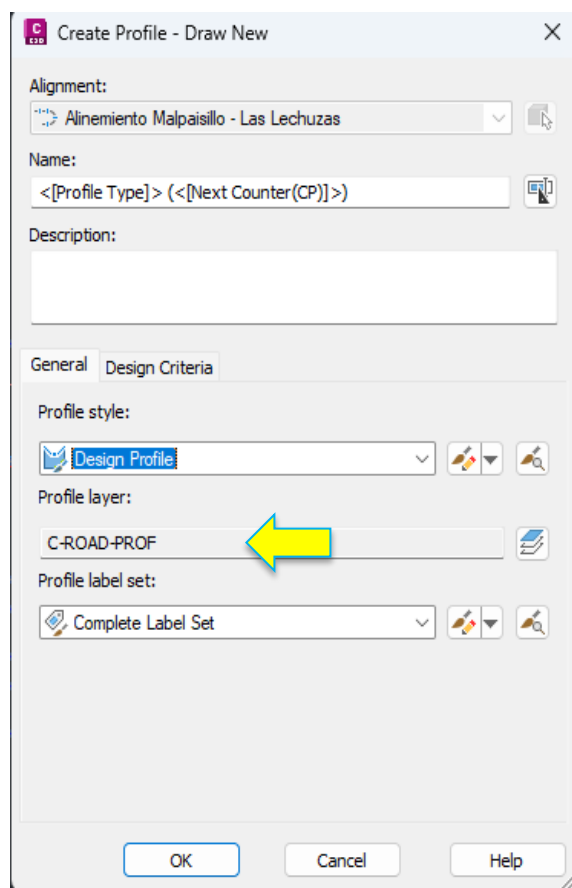
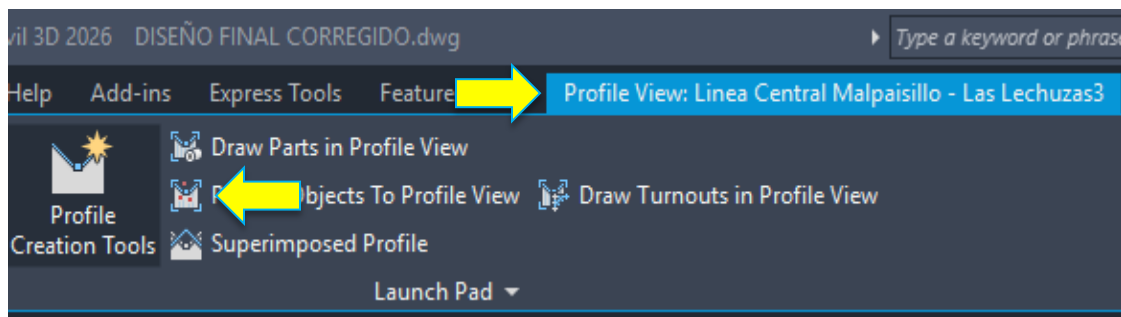
**Figura 19. Configuración de vistas del perfil.**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

4. Para la creación del alineamiento vertical se selecciona el perfil de la superficie permitiendo desplegar la ventana “**Visualización del perfil o Profile View**”, luego se opta por seleccionar la opción “**Herramientas de creación de perfiles o Profile Creation Tools**” para proceder a la configuración “**General**” y la selección de la norma de diseño a utilizar, (Ver figura 22).

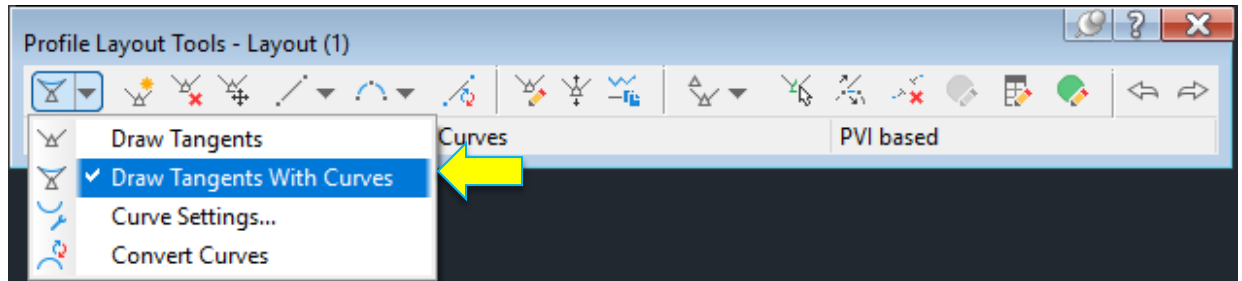
**Figura 20. Herramienta para la creación de alineamiento vertical.**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

5. Después de realizado el paso 4, se procede a crear el alineamiento a lo largo del perfil de la superficie con la **“Herramienta de composición de perfil”** y la opción **“Dibujar tangentes con curvas”** adaptándonos a las normativas antes establecidas, (Ver figura 23 y 24).

**Figura 21. Creación del alineamiento vertical.**



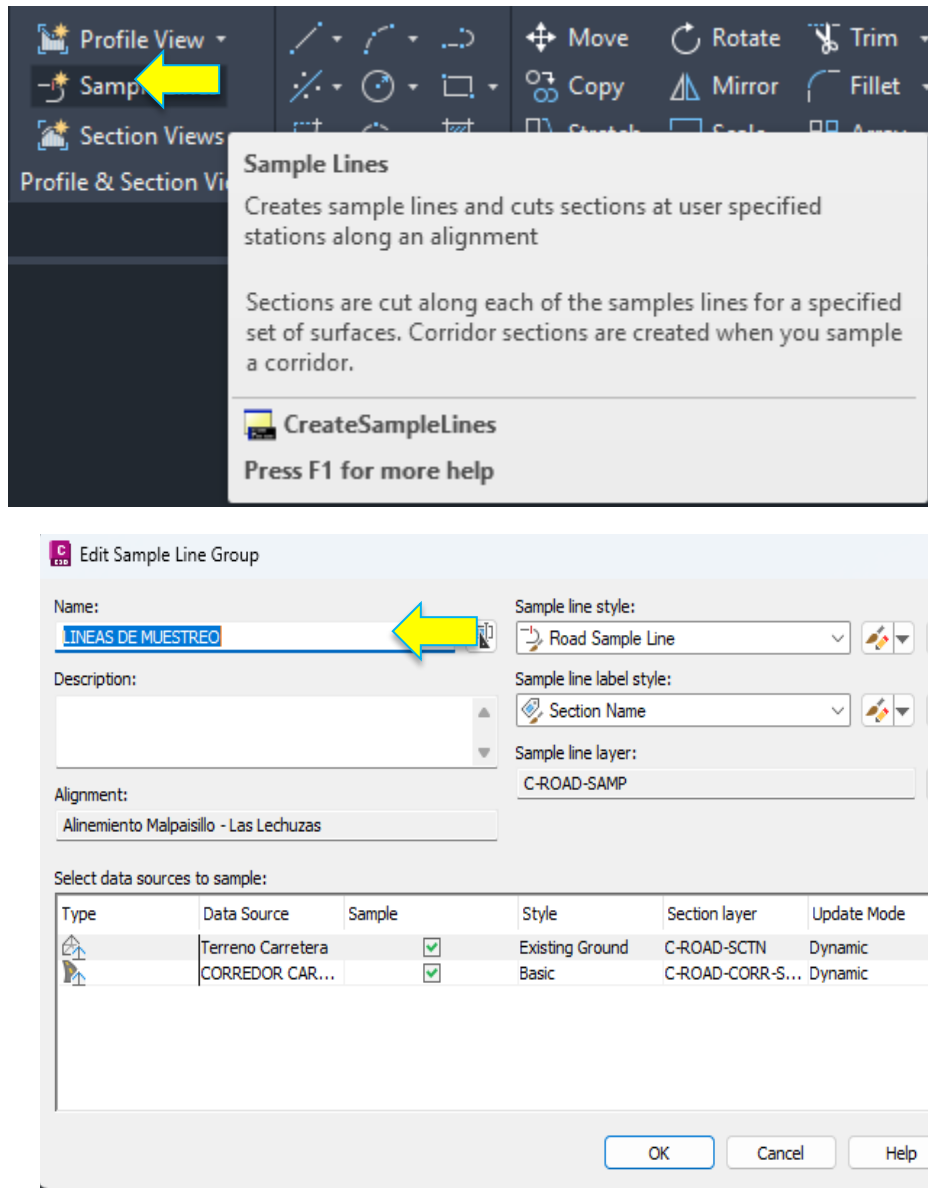
Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026.

**Para una visualización a escala a escala de los datos de curvas verticales, véase Figura 41, disponible en la sección de anexos.**

### 7.6.3 Secciones Transversales

1. Para la creación de las secciones transversales, seleccionamos la función “**Sample Lines**” para la creación de líneas de muestreo y la creación de secciones transversales.

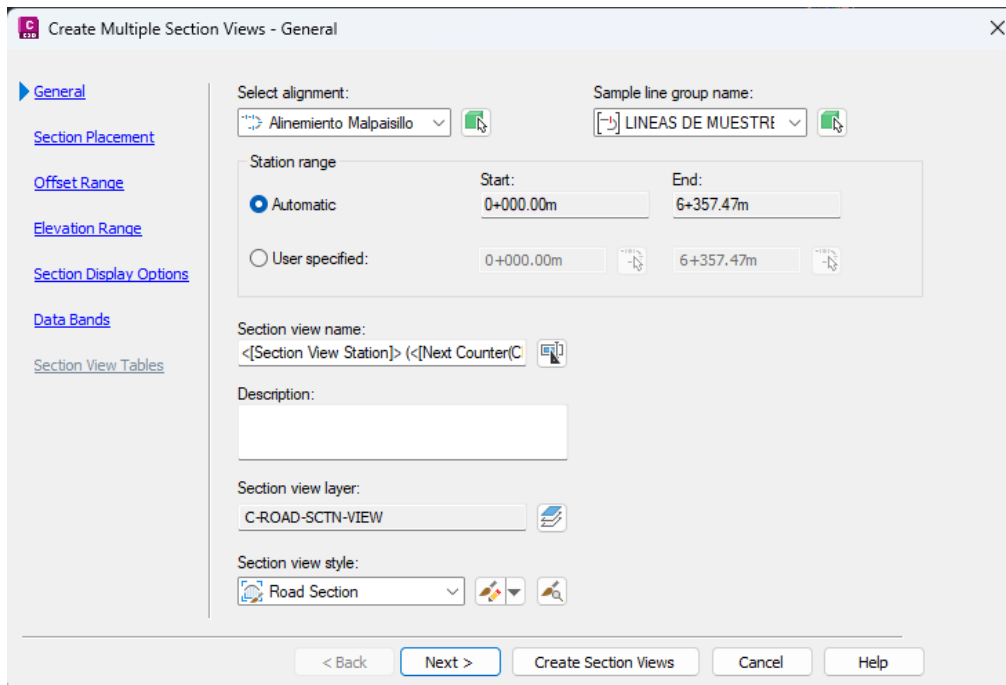
**Figura 23. Creación de Líneas de Muestreo.**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

2. Posteriormente pasamos a la creación de las secciones transversales del alineamiento, definiendo parámetros como el bombeo, y el giro de la sección en las curvas.

**Figura 24. Creación de Secciones Transversales.**



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2026

El diseño geométrico de la vía en cuestión fue elaborado por completo utilizando el software CIVIL 3D 2026, en concordancia con las directrices establecidas por la normativa de la SIECA-2011. La herramienta AutoCAD Civil 3D nos facilitó la comparación y verificación de los resultados obtenidos, permitiéndonos identificar cada componente del trazado, tanto en curvas horizontales como verticales.

A continuación, se presentan a manera de ejemplo la comprobación y el cálculo de cada elemento de curvas verticales y horizontales partiendo de los datos proporcionados por el programa.

#### 7.6.4 Cálculo de elementos de curva circular simple (C-1, Alineamiento horizontal).

$$R = 236.06 \text{ (Civil 3D)} \quad \text{CIVIL 3D} \quad \Delta = 18^\circ 34' 6'' \text{ (Civil 3D)}$$

$$PI = 3 + 324.80 \text{ (Civil 3D)} \quad e_{max} = 8\% \quad F = 0.19$$

$$R_{min} = 73m \text{ SIECA 2011} \quad G_{max} = 15^\circ 42' \text{ (SIECA 2011)}$$

##### 1. Grado de Curvatura

$$G_c = \frac{1,145.95}{R} = \frac{1,145.95}{236.06} = 4^\circ 51' 24'' < G_{max} \quad \text{CUMPLE}$$

##### 2. Radio de diseño de la curva

$$R = \frac{1,145.95}{G_c} = \frac{1,145.95}{4^\circ 51' 24''} = 235.95 > R_{min}.$$

##### 3. Sub tangente

$$ST = R * \tan \frac{\Delta}{2}$$

$$ST = 236.06 * \tan \frac{18^\circ 34' 6''}{2} = 38.55 \text{ m}$$

##### 4. Longitud de la curva

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

$$L_c = \frac{\pi * 236.06 * 18^\circ 34' 6''}{180} = 76.50 \text{ m}$$

5. Cuerda Máxima

$$CM = 2 * R * \text{Sen} \frac{\Delta}{2}$$
$$CM = 2 * 236.06 * \text{Sen} \frac{18^\circ 34' 6''}{2} = 76.17m$$

6. Externa

$$\varepsilon = \frac{R}{\text{Cos} \frac{\Delta}{2}} - R$$
$$\varepsilon = \frac{236.06}{\text{Cos} \frac{18^\circ 34' 6''}{2}} - 236.06 = 3.13m$$

7. Ordenada

$$M = R * \left(1 - \text{Cos} \frac{\Delta}{2}\right)$$
$$M = 236.06 * \left(1 - \text{Cos} \frac{18^\circ 34' 6''}{2}\right) = 3.09 m$$

8. Estacionamiento

$$Est.PC = Est.PI - ST$$
$$Est.PC = 3 + 286.21 - 38.55 = 3 + 247.66$$

$$Est.PI = Est.PC + \frac{Lc}{2}$$
$$Est.PI = 3 + 247.66 + \frac{76.50}{2} = 3 + 285.91$$

$$Est.PT = Est.PC + Lc$$
$$Est.PC = 3 + 247.66 + 76.50 = 3 + 324.16$$

### 7.6.5 Cálculo de sobreancho para curva circular simple (C-1).

Vehículo de diseño = C2

Velocidad de diseño (V) = 50 km/h

Número de carriles (N) = 2

Ancho de rodamiento (Wn) = 6.00 m

Radio (R) = 200 m

Ancho de la huella del vehículo (u) = 2.40 m

Distancia entre ruedas del vehículo entre ejes consecutivos (L) = 6.10 m

Claro lateral (C) = 0.60 m

Saliente frontal (A) = 1.20 m

#### 1. Ancho de huella

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \epsilon L^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$U = 2.40 + 236.06 \sqrt{236.06^2 - 6.10^2} = 2.48m$$

A continuación, se muestran la memoria de cálculo realizada para cada una de las curvas

**Tabla 27. Cálculo de ancho de huella**

| u          | Radio  | L   | U    |
|------------|--------|-----|------|
| <b>2.4</b> | 236.06 | 6.1 | 2.48 |
| <b>2.4</b> | 181.55 | 6.1 | 2.50 |
| <b>2.4</b> | 768.8  | 6.1 | 2.42 |
| <b>2.4</b> | 467.15 | 6.1 | 2.44 |
| <b>2.4</b> | 656.25 | 6.1 | 2.43 |
| <b>2.4</b> | 457.88 | 6.1 | 2.44 |

## 2. Ancho Saliente Frontal

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \quad \text{Ecuación 17}$$

$$FA = \sqrt{236.06^2 + 1.20(2 * 6.10 + 1.20)} - 236.06 = 0.03m$$

**Tabla 28. Cálculo de ancho saliente frontal**

| Radio  | A   | L   | FA          |
|--------|-----|-----|-------------|
| 236.06 | 1.2 | 6.1 | <b>0.03</b> |
| 181.55 | 1.2 | 6.1 | <b>0.04</b> |
| 768.8  | 1.2 | 6.1 | <b>0.01</b> |
| 467.15 | 1.2 | 6.1 | <b>0.02</b> |
| 656.25 | 1.2 | 6.1 | <b>0.01</b> |
| 457.88 | 1.2 | 6.1 | <b>0.02</b> |

## 3. Ancho Extra

$$Z = 01 \left( \frac{V}{\sqrt{R}} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Z = 01 \left( \frac{50}{\sqrt{236.06}} \right) = 0.33m$$

**Tabla 29. Cálculo de ancho extra**

| V  | Radio  | Z           |
|----|--------|-------------|
| 50 | 236.06 | <b>0.33</b> |
| 50 | 181.55 | <b>0.37</b> |
| 50 | 768.8  | <b>0.18</b> |
| 50 | 467.15 | <b>0.23</b> |
| 50 | 656.25 | <b>0.20</b> |
| 50 | 457.88 | <b>0.23</b> |

#### 4. Ancho necesario de curva

$$W_c = N (U + C) + (N - 1) FA + Z \quad \text{Ecuación 19}$$

$$W_c = 2 (2.48 + 0.60) + (2 - 1) * 0.03 + 0.33 = 6.52m$$

**Tabla 30. Cálculo de ancho extra**

| Curva | Wc          |
|-------|-------------|
| C1    | <b>6.52</b> |
| C2    | <b>6.62</b> |
| C3    | <b>6.24</b> |
| C4    | <b>6.33</b> |
| C5    | <b>6.26</b> |
| C6    | <b>6.33</b> |

#### 5. Sobreancho

$$W = W_c - W_n \quad \text{Ecuación 20}$$

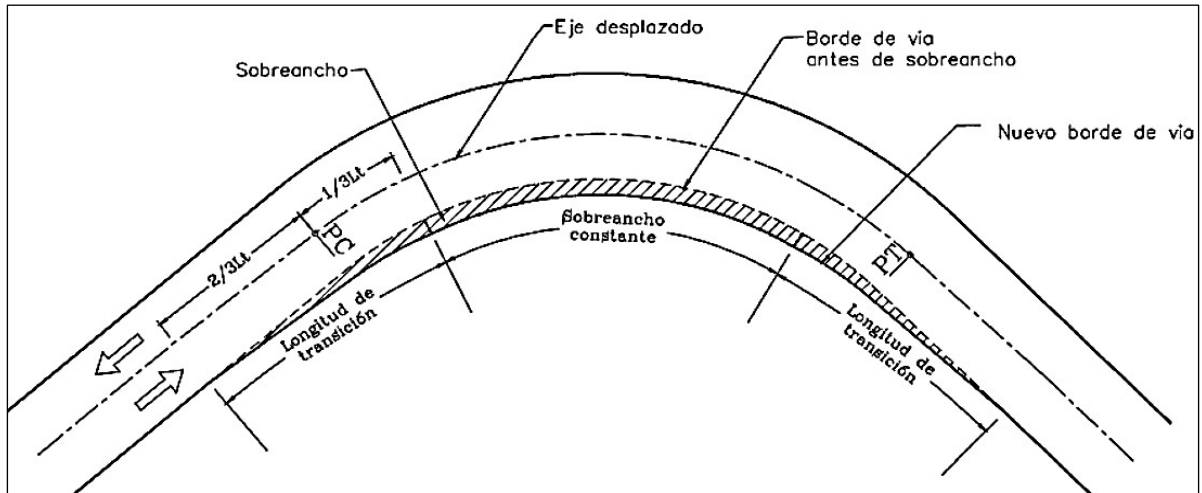
$$W = 6.52 - 6.00 = 0.52m$$

**Tabla 31. Cálculo de sobreancho**

| Wc   | Wn   | Wc (Calculado) |
|------|------|----------------|
| 6.52 | 6.00 | 0.52           |
| 6.62 | 6.00 | 0.62           |
| 6.24 | 6.00 | 0.24           |
| 6.33 | 6.00 | 0.33           |
| 6.26 | 6.00 | 0.26           |
| 6.33 | 6.00 | 0.33           |

En caso de requerir sobreancho, por razones de apariencia el sobreancho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos, **Ver figura 27**.

**Figura 25. Transición del sobreancho en curva circular simple.**

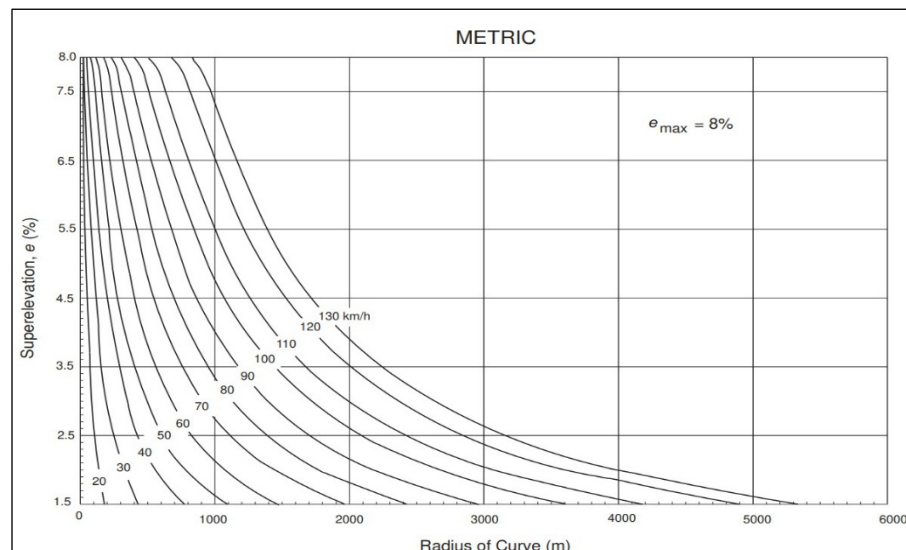


Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.469.

1. Determinación del peralte “ed” mediante la **figura 28** reflejada anteriormente.

(Tasas de peralte de diseño para una tasa de peralte máxima del 8%).

**Figura 26. Grafica de peralte máximo**



Fuente: (A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition, 2004, p. 183)

A continuación, se presentan una tabla de resumen de los cálculos de elementos para cada curva horizontal presente en el diseño. Cada elemento fue determinado manualmente siendo estos comparados con los obtenidos por el software civil 3D, cumpliendo con los criterios de diseño de la SIECA 2011.

**Tabla 32. Elementos de Curvas**

| N° DE CURVA | DELTA  |         |          |             | RADIO MINIMO 73 M (SIECA 2011) |            |            |        | G MAX 15°42' (SIECA 2011) |          |          | emax 8% (SIECA 2011) |        |       | SI W ≤ 0.60 No requiere Sobreancho (SIECA 2011) |      |      |               |               |                |                      |                |                     |  |
|-------------|--------|---------|----------|-------------|--------------------------------|------------|------------|--------|---------------------------|----------|----------|----------------------|--------|-------|-------------------------------------------------|------|------|---------------|---------------|----------------|----------------------|----------------|---------------------|--|
|             | GRADOS | MINUTOS | SEGUNDOS | RADIANES    | GC                             | R (CALCUL) | R (PROPUES | T      | LC                        | PC       | PI       | PT                   | CM     | E     | M                                               | Wc   | Wn   | W (Calculado) | W (Propuesto) | ed (Calculado) | ed (Civil 3D/ SIECA) | Ls (Calculada) | Ls (Civil 3D/SIECA) |  |
| C1          | 18     | 34      | 6        | 0.324078553 | 4° 51' 24"                     | 236.06     | 236.06     | 38.59  | 76.50                     | 3+286.21 | 3+324.80 | 3+362.71             | 76.17  | 3.13  | 3.09                                            | 6.52 | 6.00 | 0.52          | -             | 3.90%          | 4%                   | 18.00          | 18.00               |  |
| C2          | 69     | 56      | 19.24    | 1.220660202 | 6° 18' 44"                     | 181.55     | 181.55     | 126.98 | 221.61                    | 3+416.31 | 3+543.28 | 3+637.92             | 208.11 | 40.00 | 32.78                                           | 6.62 | 6.00 | 0.62          | 0.6           | 5.70%          | 4%                   | 26.31          | 26.31               |  |
| C3          | 14     | 59      | 27.17    | 0.261640223 | 1° 29' 28"                     | 768.8      | 768.8      | 101.15 | 201.15                    | 3+970    | 4+071.15 | 4+171.15             | 200.58 | 6.63  | 6.57                                            | 6.24 | 6.00 | 0.24          | -             | 2.10%          | 2.20%                | 9.69           | 9.69                |  |
| C4          | 32     | 29      | 55.8     | 0.567211645 | 2° 27' 11"                     | 467.15     | 467.15     | 136.16 | 264.97                    | 4+528.29 | 4+664.44 | 4+793.26             | 261.44 | 19.44 | 18.66                                           | 6.33 | 6.00 | 0.33          | -             | 3.20%          | 3.20%                | 14.77          | 14.77               |  |
| C5          | 23     | 29      | 13.26    | 0.409925772 | 1° 44' 46"                     | 656.25     | 656.25     | 136.42 | 269.01                    | 5+233.09 | 5+369.52 | 5+502.11             | 267.13 | 14.03 | 13.74                                           | 6.26 | 6.00 | 0.26          | -             | 2.40%          | 2.40%                | 11.08          | 11.08               |  |
| C6          | 20     | 58      | 4.27     | 0.365958068 | 2° 30' 11"                     | 457.88     | 457.88     | 84.73  | 167.56                    | 5+899.21 | 5+983.95 | 6+066.78             | 166.63 | 7.77  | 7.64                                            | 6.33 | 6.00 | 0.33          | -             | 3.10%          | 3.40%                | 14.31          | 14.31               |  |

Fuente: Elaboración propia.

### 7.6.6 Cálculo para curvas verticales (C-5)

$$Est. PIV = 3 + 582.58m \text{ (Civil 3D)}$$

$$Elev PIV = 116.752m \text{ (Civil 3D)}$$

$$Pendiente de entrada de curva = 0.73\%$$

$$Pendiente de salida de curva = -2.06\%$$

#### 1. Diferencia algebraica de pendientes (A)

$$A = P2 - P1 \quad \text{Ecuación 20}$$

$$A = -2.06 - (0.73) = 2.79$$

Si A es mayor de 0.5% Requiere de curva vertical.

A= (+) Curva vertical en columpio O cóncava

#### 2. Cálculo de la longitud de la curva (L).

En la tabla 23, página 56 se especifica que para una velocidad de diseño de 50 Km/h, el valor de K es igual a 13 y la distancia de visibilidad de parada es de 65 m.

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S}$$

$$L = \frac{2.79 * 65^2}{120 + 3.5 * 65} = 33.92m$$

$$Lmin = K * A$$

Ecuación 21

$$L = 13 * 2.79 = 36.27$$

Según el criterio escogido, el más exigente corresponde a la longitud de la curva, el cual tiene que ser mayor a la distancia de visibilidad de parada, por ende, para esta curva se utilizara una longitud de 70 metros.

### 3. Cálculo de estacionamientos y elevaciones de PCV y PTV-

Estacionamientos:

$$Est.PCV = 3 + 485.905 - \frac{70}{2} = 3 + 450.905$$

$$Est.PTV = 3 + 679.255 + \frac{70}{2} = 3 + 709.255$$

Elevaciones

$$Elv.PCV = 116.769 + \frac{0.73}{100} * \frac{70}{2} = 117.025$$

$$Elv.PCV = 116.546 + \frac{2.06}{100} * \frac{70}{2} = 117.267$$

Criterio de comodidad

$$L \geq \frac{2.79 * 50^2}{395} = 17.66$$

Criterio de drenaje

$$L \leq 43 * 2.79 = 119.97$$

Criterio de apariencia

$$L \geq 30 * 2.79 = 83.7$$

## 8. CONCLUSIONES

- ❖ Estudio de tránsito: Se llevó a cabo el estudio de tránsito mediante un aforo vehicular, este nos permitió conocer el tránsito promedio diario que circula siendo este de 206 vehículos diarios, con este dato y los factores se ajustó y obtuvimos un tránsito promedio diario anual (TPDA) de 776 vehículos.
- ❖ Estudio topográfico: Se efectuó el levantamiento topográfico planialtimétrico detallando lo largo del tramo de estudio, del cual se obtuvo coordenadas de los puntos levantados correspondientes al área, incluyendo las elevaciones de cada punto, características del terreno, relieve, curvas de nivel y perfil longitudinal.
- ❖ Diseño Geométrico: En nuestro diseño tenemos como resultado un ancho de carril de 3 metros, las curvas se diseñaron en base a la distancia de visibilidad de parada siendo esta de 65 metros, un peralte máximo del 8%, factor de fricción de 0.19, radio mínimo de 73 metros, pendiente máxima de 7% y un bombeo de 2%. Se elaboraron los planos planta perfil y secciones típicas de la vía. Todo esto se llevó a cabo mediante el uso de software Civil 3D.

## **9. RECOMENDACIONES**

- ❖ Con el Diseño Geométrico se puede formular el proceso constructivo llevado a cabo por la alcaldía del municipio o cualquier empresa, se recomienda realizar un estudio de suelo para conocer e identificar las características del mismo en toda la longitud del tramo diseñado para identificar si se es necesario un mejoramiento del terreno proponiendo el tipo de mejoramiento de suelo para una futura construcción vial.
- ❖ Se recomienda integrar un análisis hidrológico realizado por un especialista como complemento al diseño geométrico propuesto, con el fin de garantizar un drenaje eficaz y la estabilidad a largo plazo del tramo estudiado.

## 10. REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials Executive Committee. (2004). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Fifth Edition.*
- Cardenas Grisales, J. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras (2.ª ed.)*. Ecoe Ediciones.
- Centro CAD Nicaragua. (2013). *Manual Civil 3D*.
- Mayor R, R., & Cardenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones. 9ª edición*. Alfaomega.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2020). *Anuario de aforos de tráfico 2020*. República de Nicaragua.
- Navarro Hudiel, S. J. (2008). *Manual de topografía - Planimetría*.
- Ospina, J. J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías. Ajustado al manual Colombiano*.
- R. Wolf, P., & Charles D., G. (2014). *Topografía (14ª ed.)*. Alfaomega.
- Secretaría de Integración Económica (SIECA). (2004). *Manual centroamericano: Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (2.ª ed.)*.
- Secretaría de Integración Económica (SIECA). (2011). *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (3.ª ed.)*.

## 11. ANEXOS

ANEXO A: Figuras.

**Figura 27. Estación total utilizada en levantamiento**



**Figura 28. Levantamiento topográfico**



**Figura 29. Visitas de campo**



**Figura 30. Planta de energía solar “El Jaguar”**



**Figura 31. Corredor obtenido mediante Civil 3D 2026**

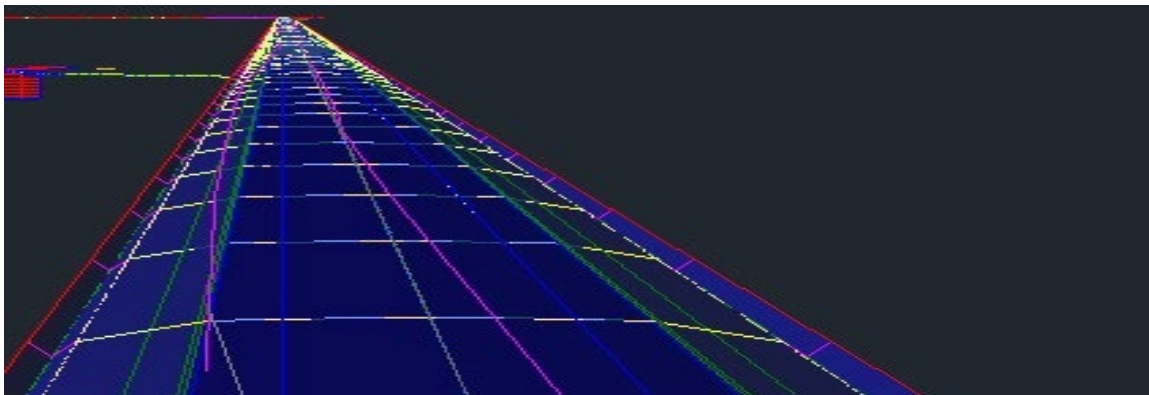


**Figura 32. Plano de planta y perfil EST 0+000 – 0+610**

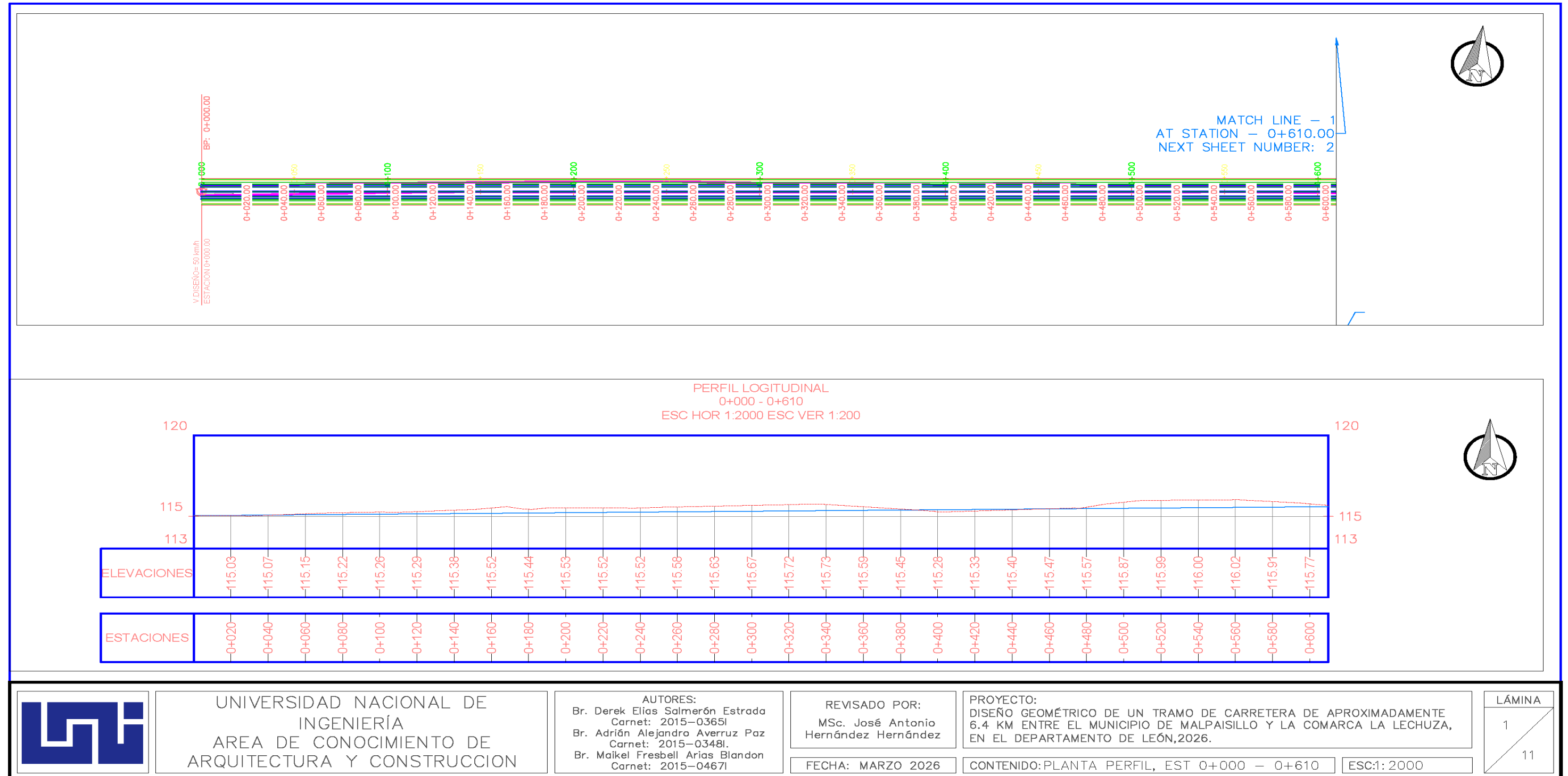


**Figura 33. Plano de planta y perfil EST 0+610 – 1+220**

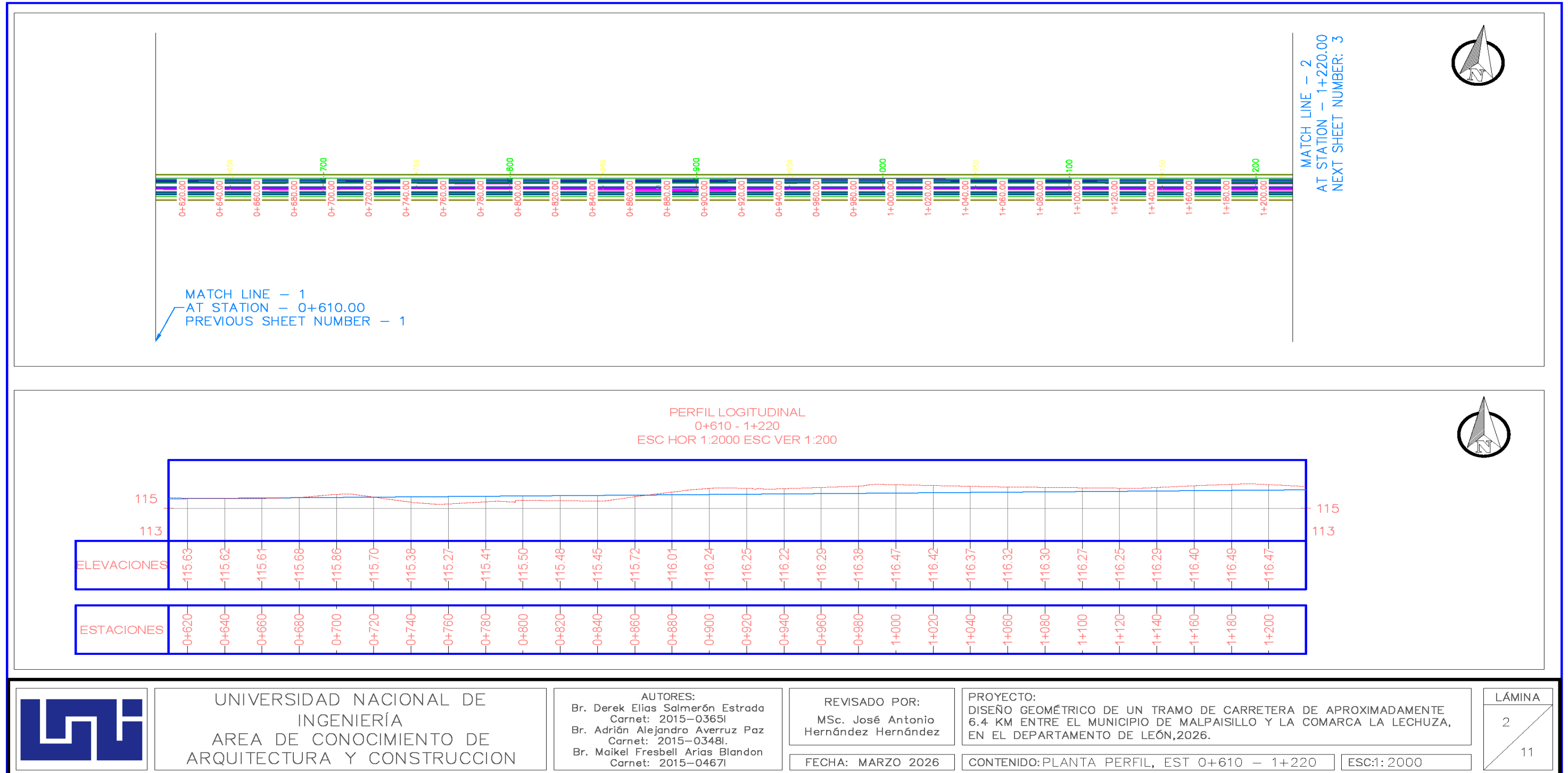


**Figura 34. Plano de planta y perfil EST 1+220 – 1+830**

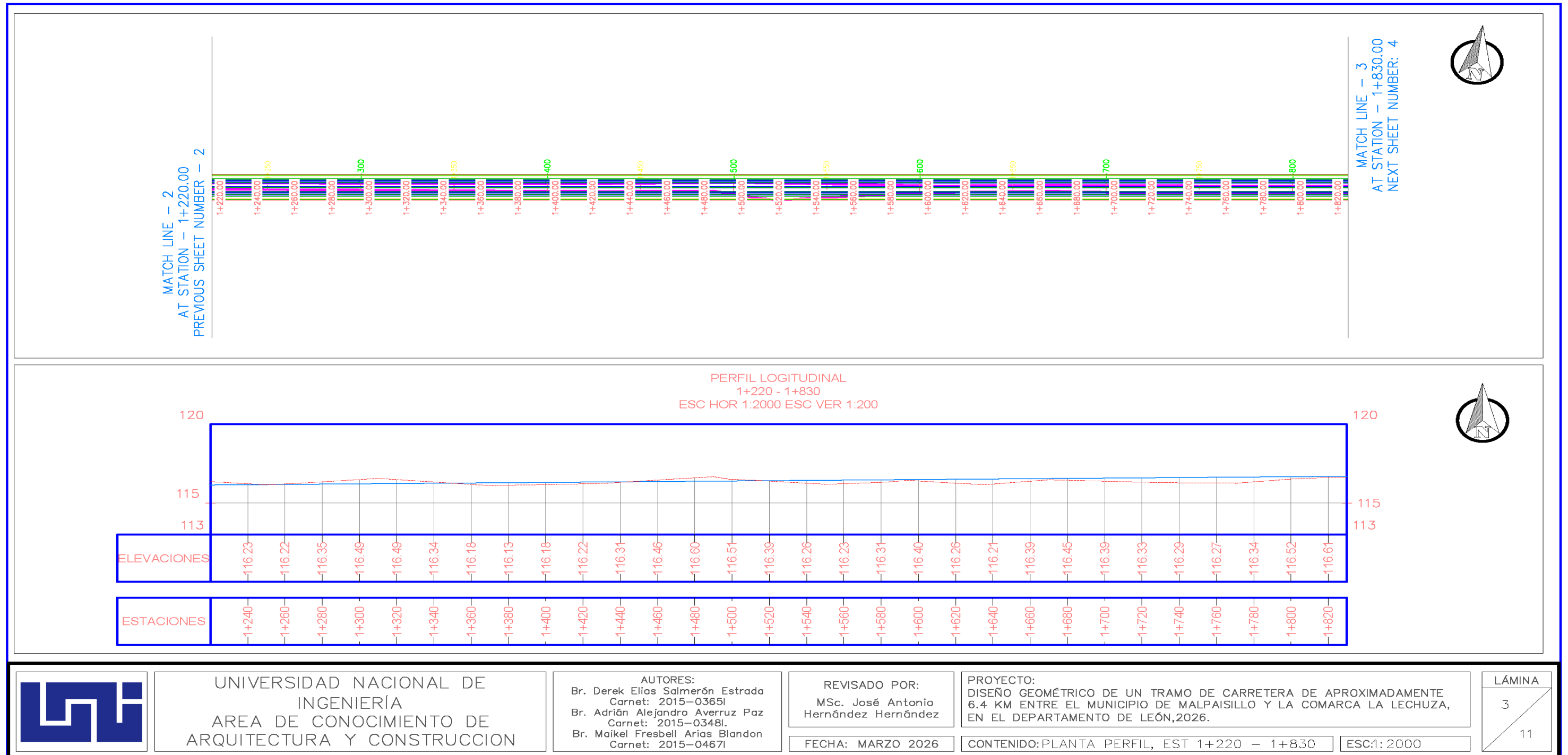


**Figura 35. Plano de planta y perfil EST 1+830 – 2+440**

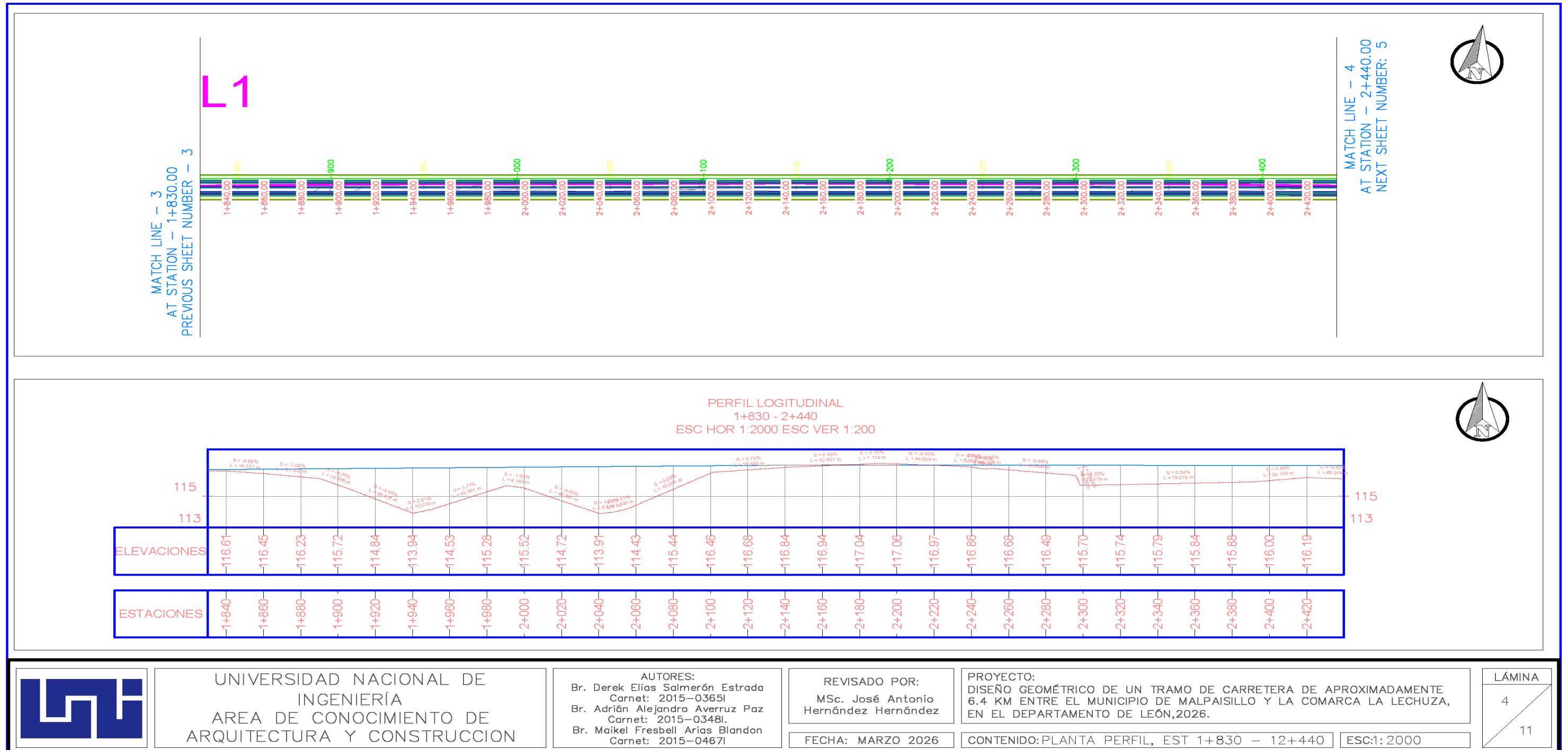


Figura 36. Plano de planta y perfil EST 2+440 – 3+050

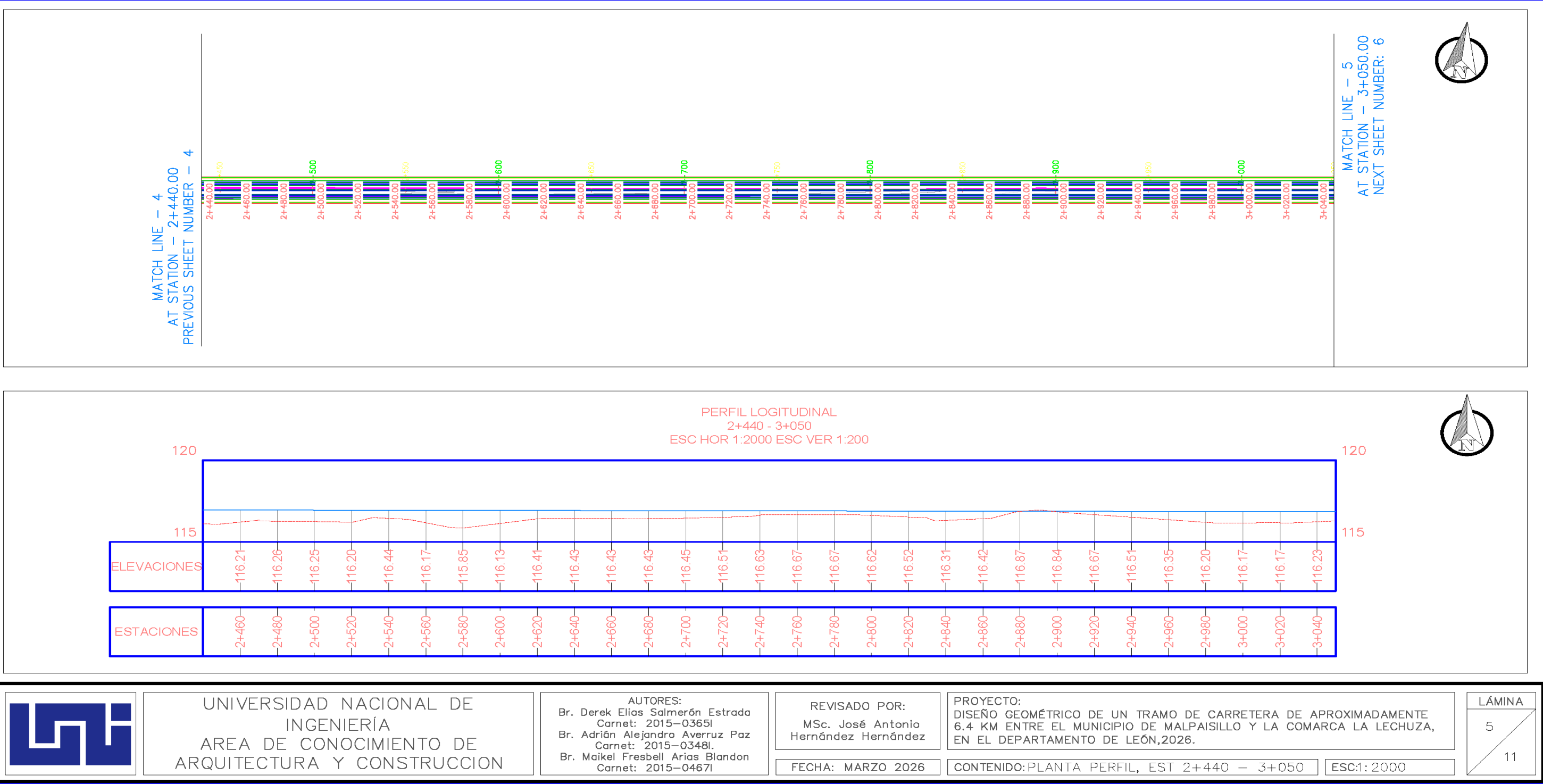


Figura 37. Plano de planta y perfil EST 3+050 – 3+660

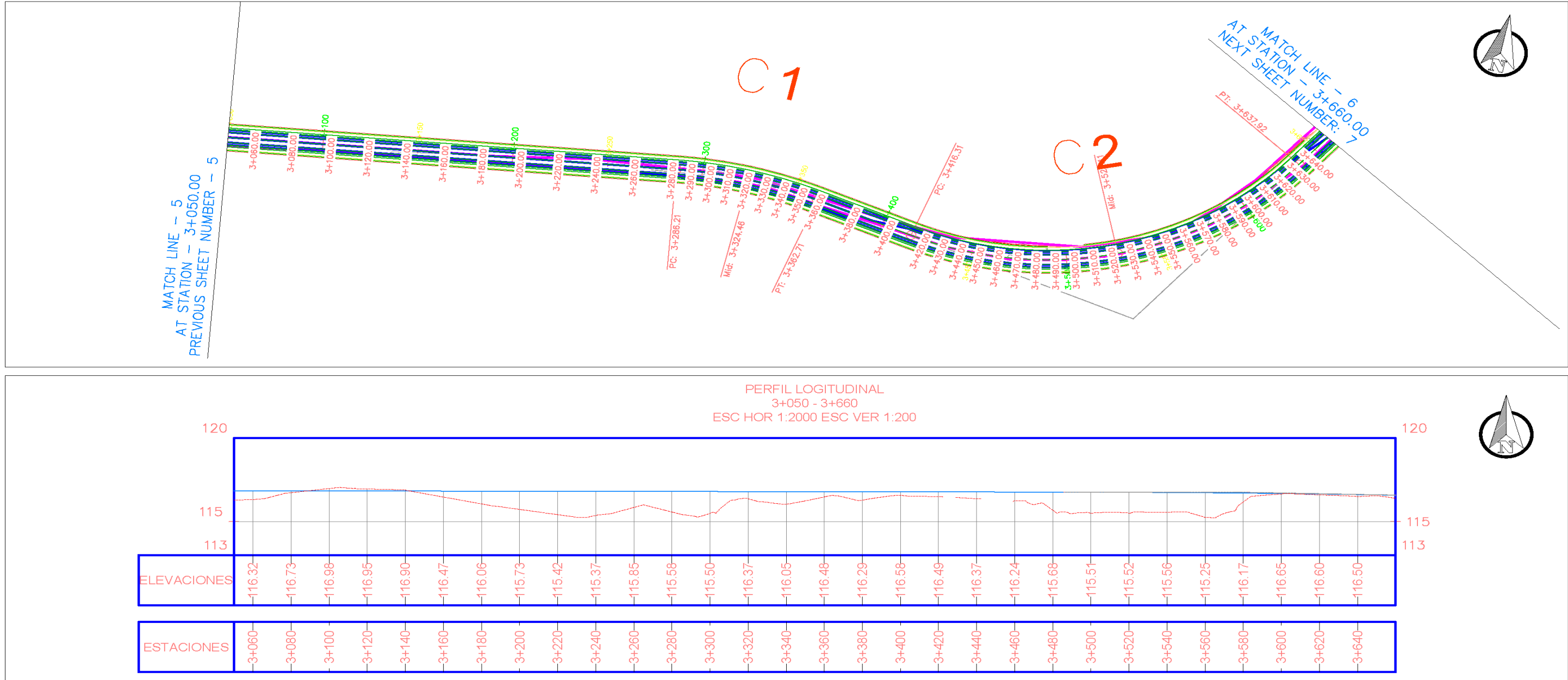


**Figura 38. Plano de planta y perfil EST 3+660 – 4+270**

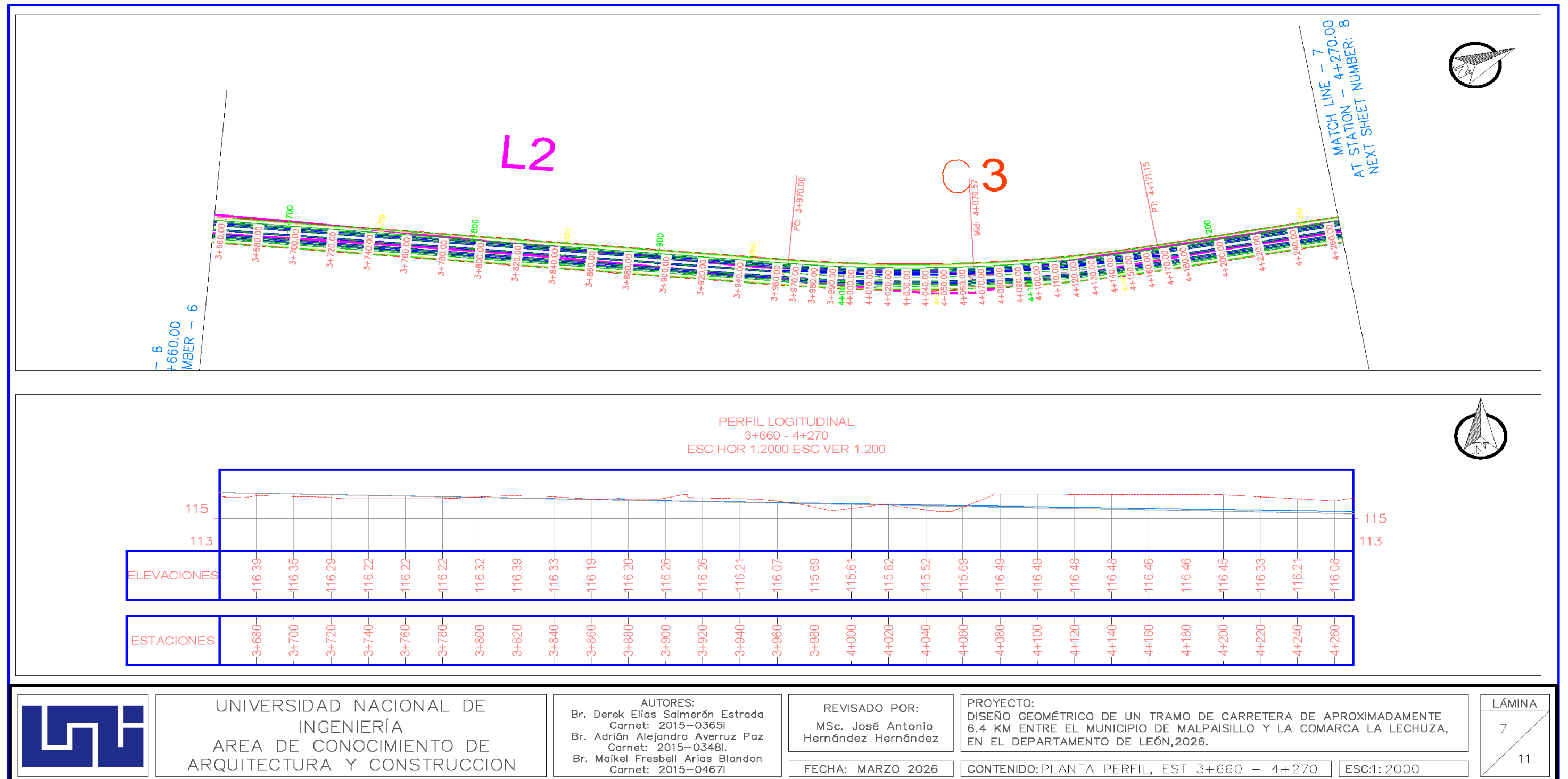


Figura 39. Plano de planta y perfil EST 4+270 – 4+880

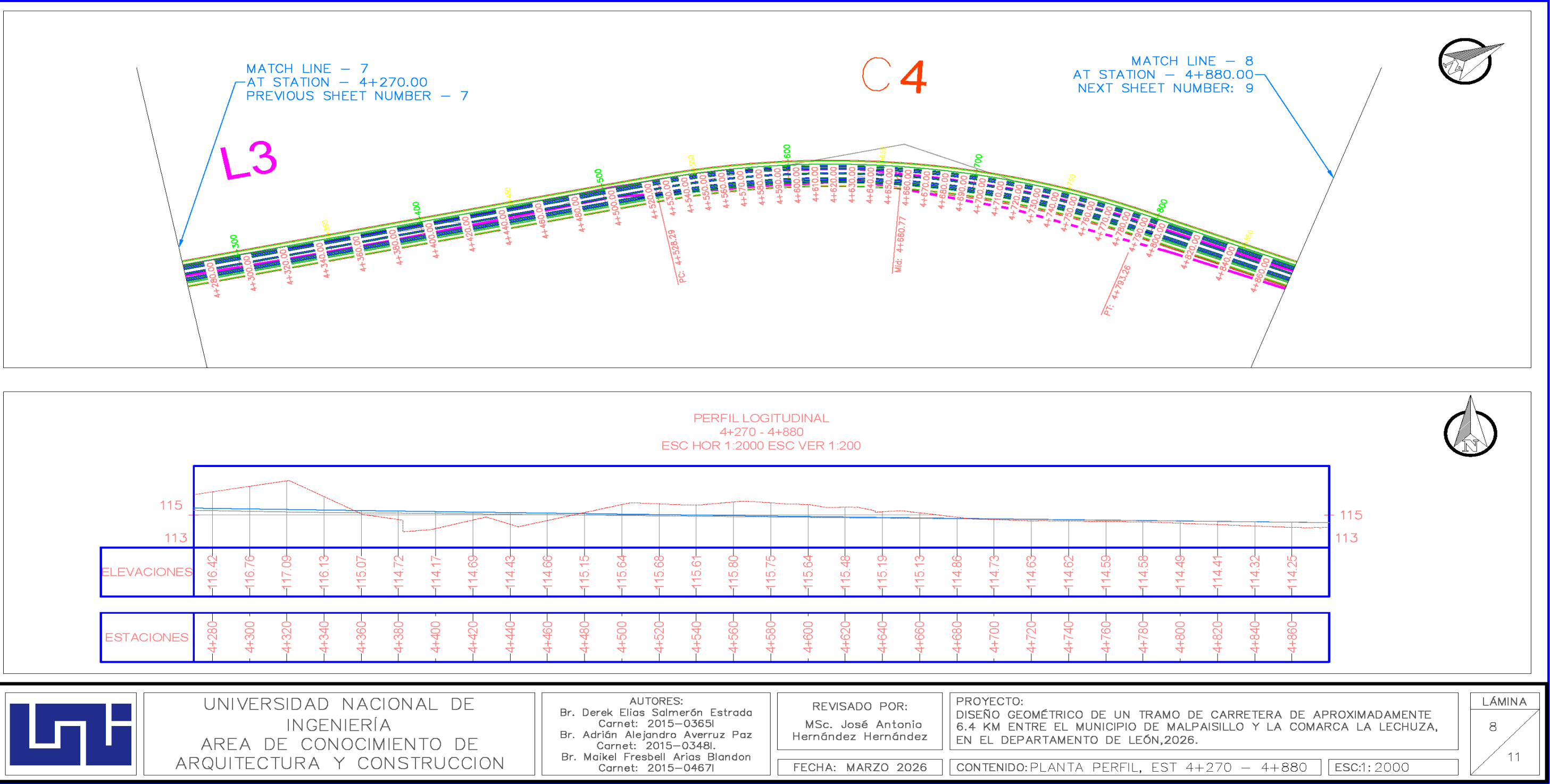


Figura 49. Plano de planta y perfil EST 4+880 – 5+490

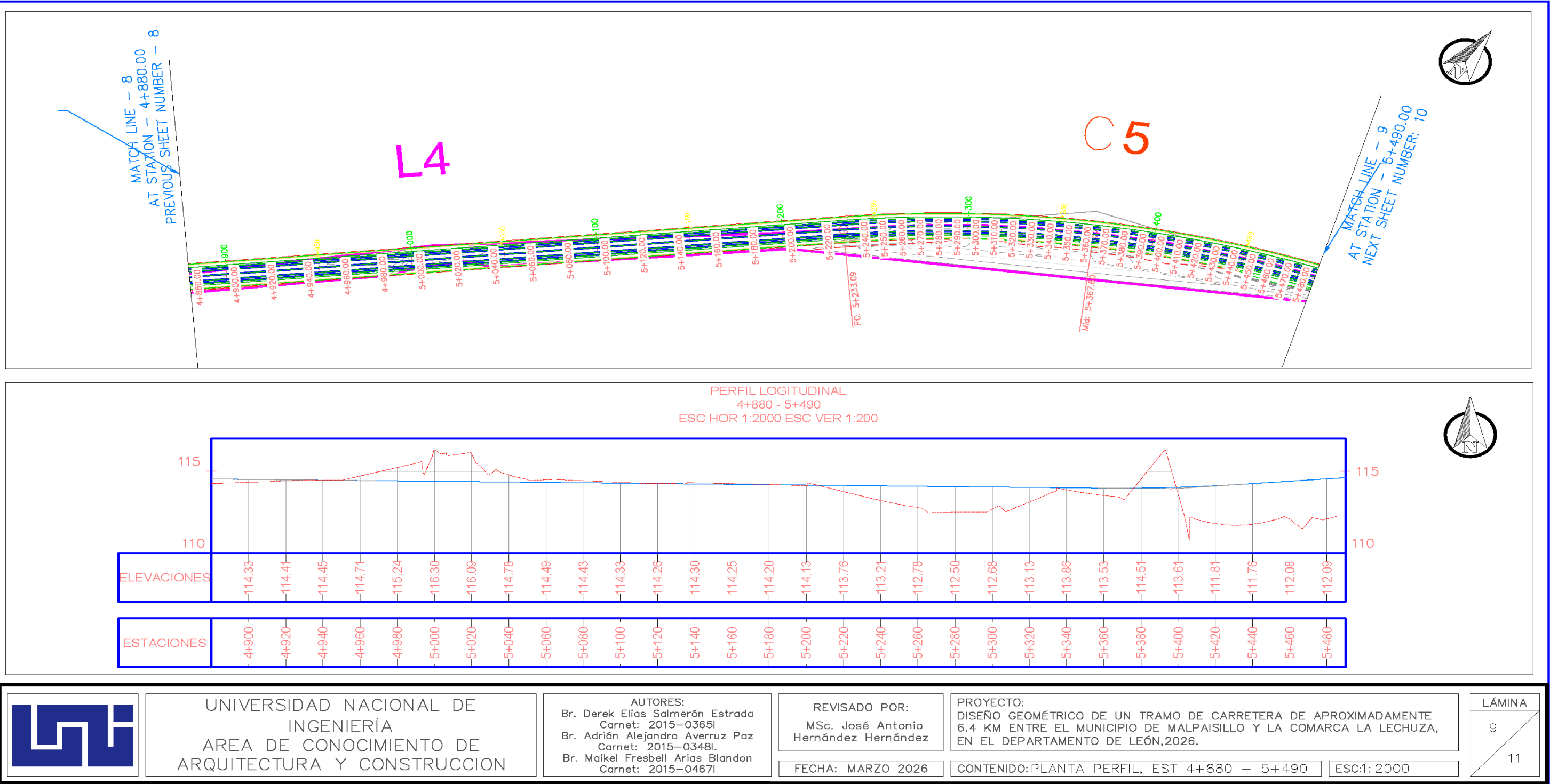


**Figura 41. Plano de planta y perfil EST 5+490 – 6+100**

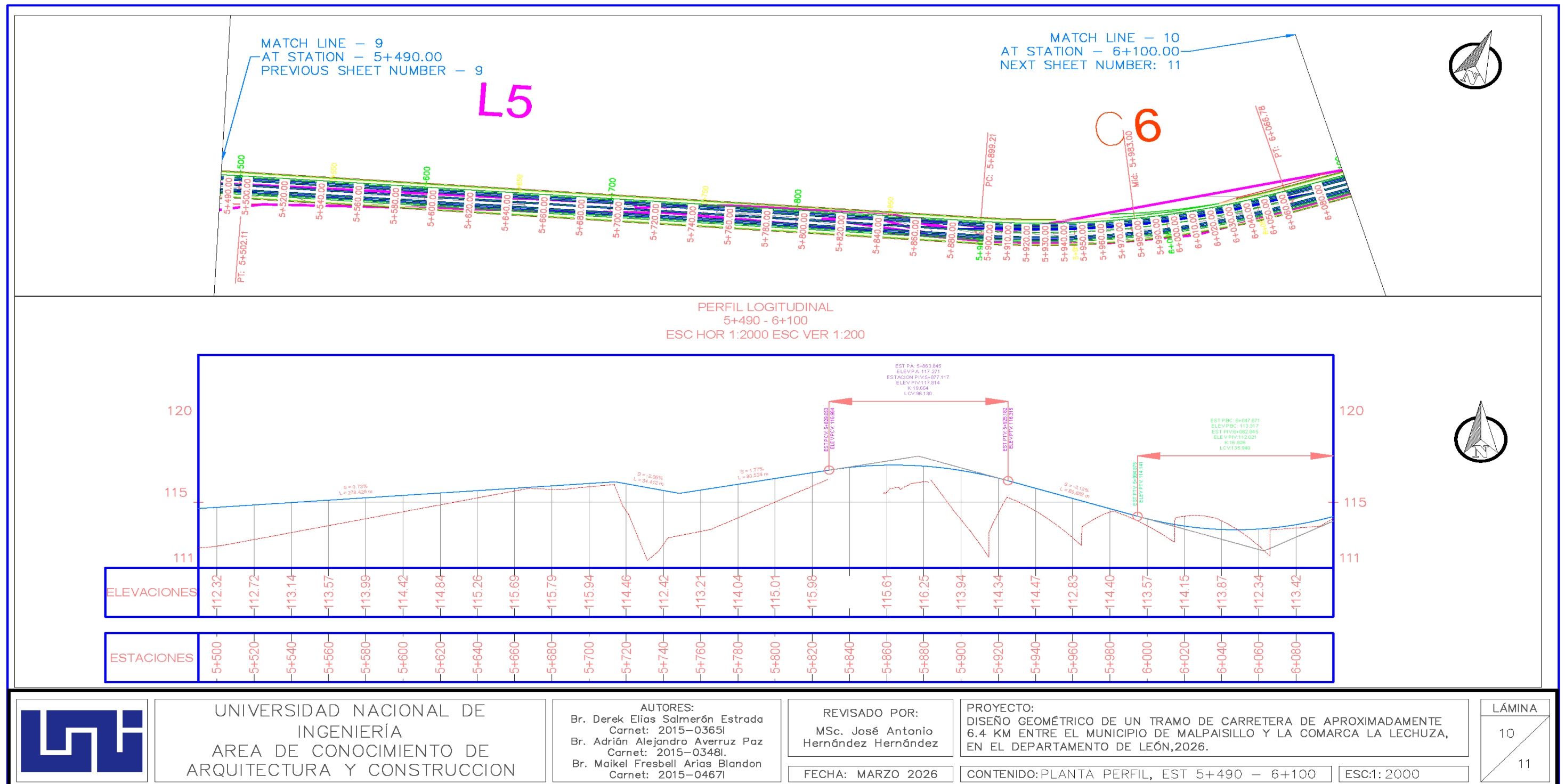
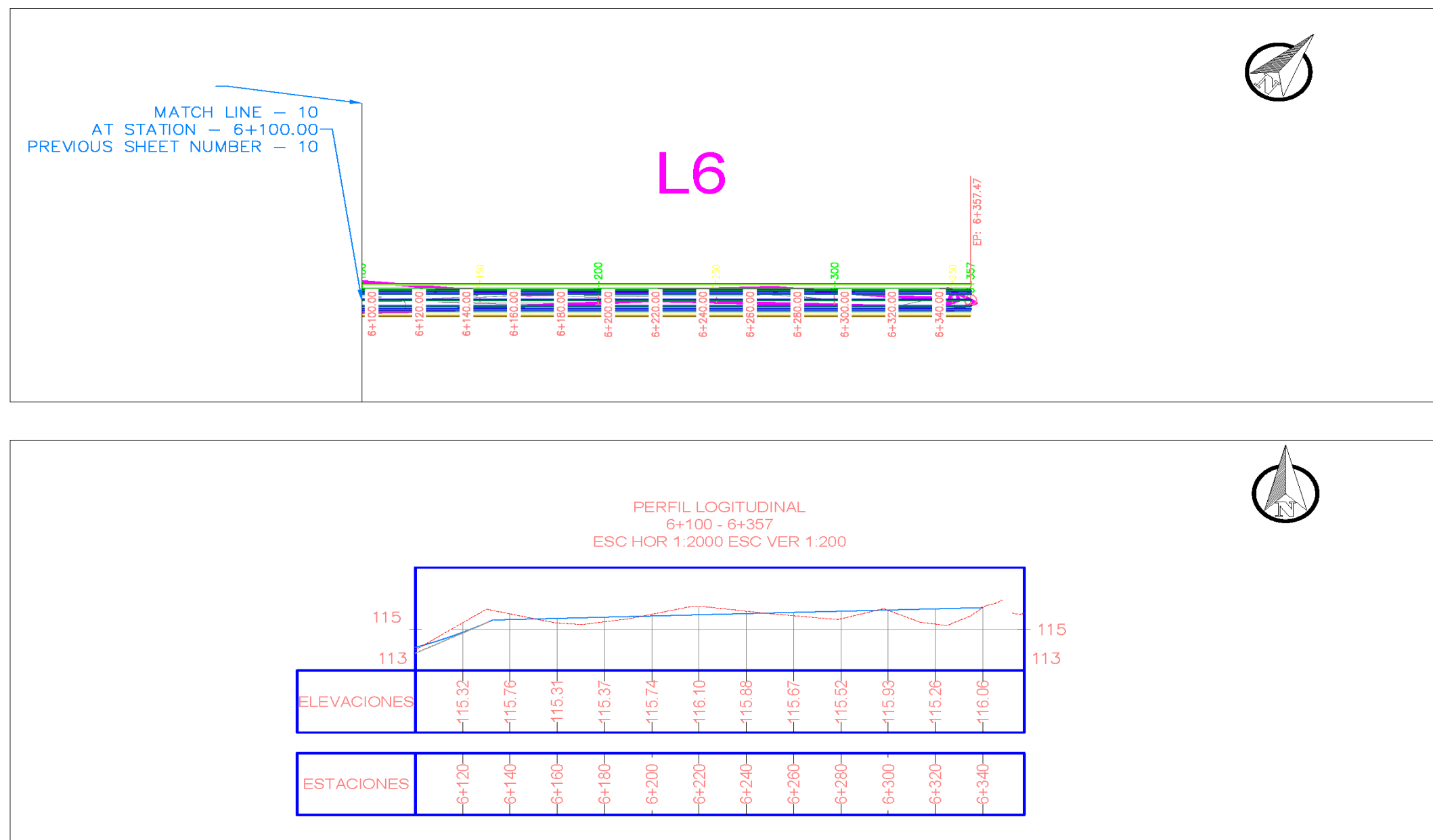


**Figura 42. Plano de planta y perfil EST 6+100 – 6+357**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERÍA  
AREA DE CONOCIMIENTO DE  
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

AUTORES:  
Br. Derek Elias Salmerón Estrada  
Carnet: 2015-03651  
Br. Adrián Alejandro Averruz Paz  
Carnet: 2015-03481.  
Br. Maikel Fresbell Arias Blandon  
Carnet: 2015-04671

REVISADO POR:  
MSc. José Antonio  
Hernández Hernández

FECHA: MARZO 2026

PROYECTO:  
DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN TRAMO DE CARRETERA DE APROXIMADAMENTE  
6.4 KM ENTRE EL MUNICIPIO DE MALPAISILLO Y LA COMARCA LA LECHUZA,  
EN EL DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2026.

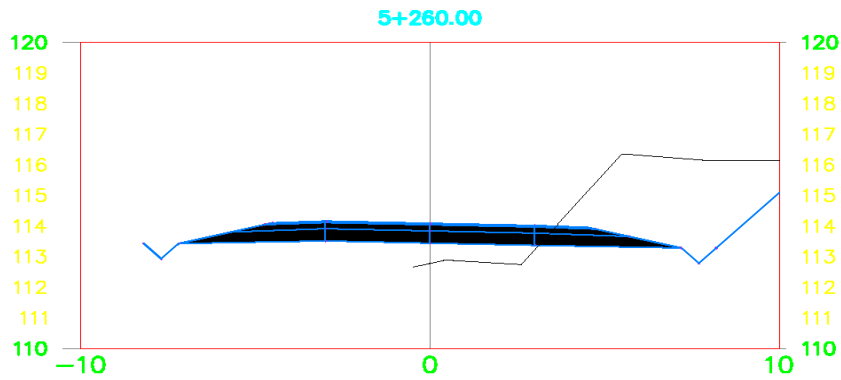
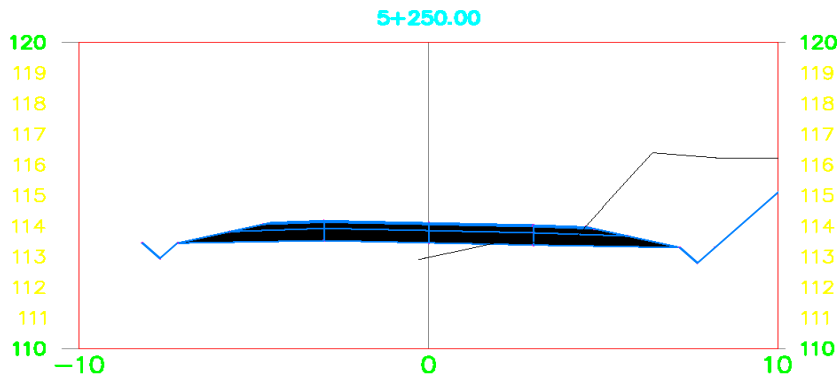
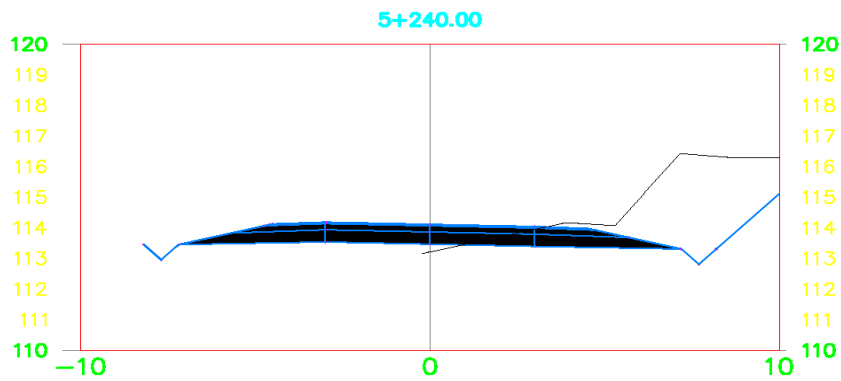
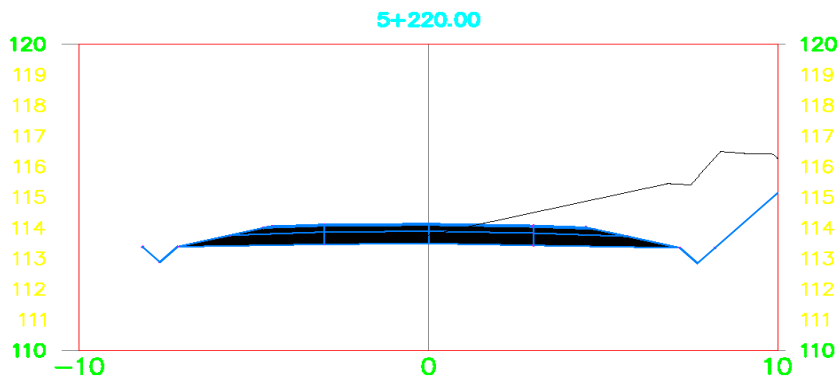
|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| CONTENIDO: PLANTA PERFIL, EST 6+100 - 6+357 | ESC: 1:2000 |
|---------------------------------------------|-------------|

LÁMINA

11

11

Figura 43. Plano de secciones EST 5+220 – 5+260



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERÍA  
AREA DE CONOCIMIENTO DE  
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

AUTORES:  
Br. Derek Elias Salmerón Estrada  
Carnet: 2015-03651  
Br. Adrián Alejandro Averzuz Paz  
Carnet: 2015-03481  
Br. Maikel Fresbell Arias Blandon  
Carnet: 2015-04671

REVISADO POR:  
MSc. José Antonio  
Hernández Hernández

FECHA: MARZO 2026

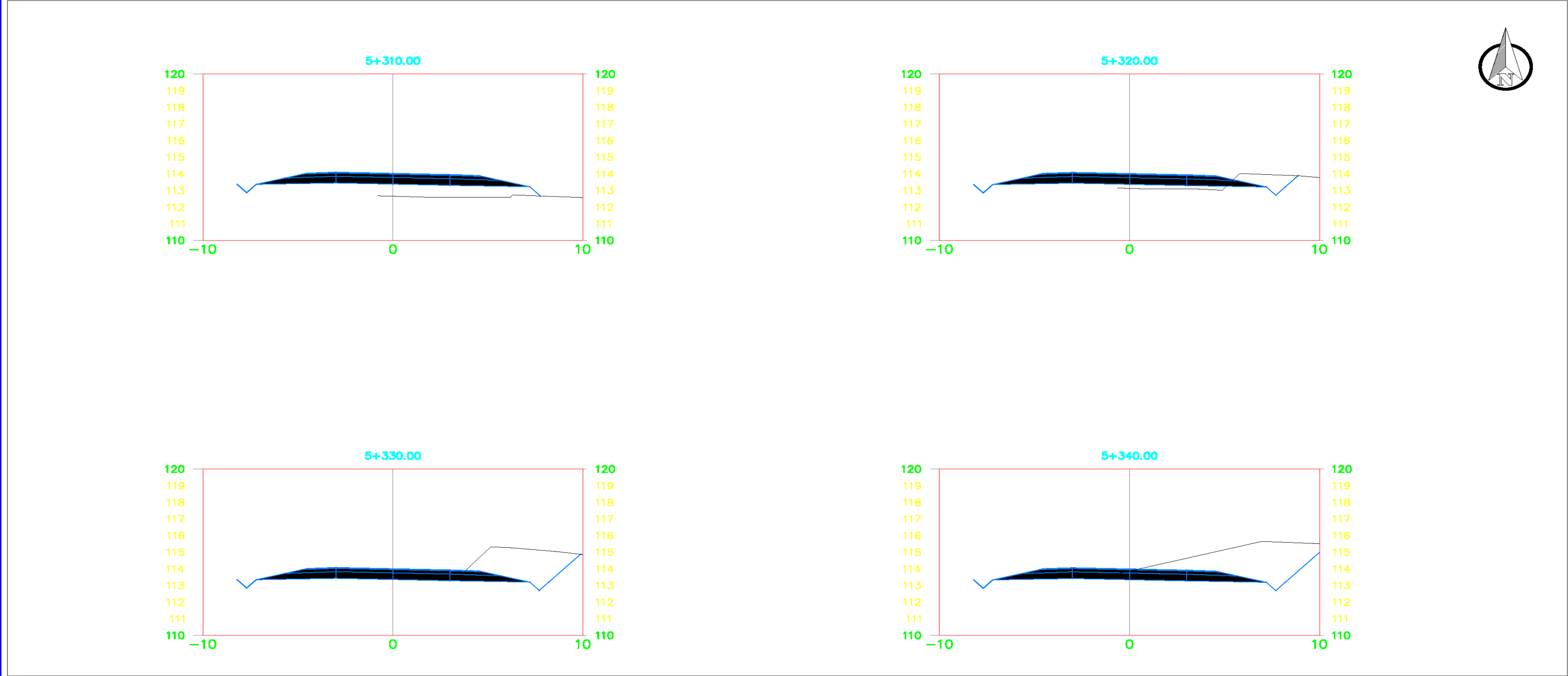
PROYECTO:  
DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN TRAMO DE CARRETERA DE APROXIMADAMENTE  
6.4 KM ENTRE EL MUNICIPIO DE MALPAISILLO Y LA COMARCA LA LECHUZA,  
EN EL DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2026.

CONTENIDO: PLANO SECCION EST 5+220 – 5+260

ESC: 1: 200

LÁMINA  
1  
7

Figura 44. Plano de secciones EST 5+270 – 5+300



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERÍA  
AREA DE CONOCIMIENTO DE  
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

AUTORES:  
Br. Derek Elías Salmerón Estrada  
Carnet: 2015-03651  
Br. Adrián Alejandro Averguz Paz  
Carnet: 2015-03481  
Br. Maikel Fresbell Arias Blandon  
Carnet: 2015-04671

REVISADO POR:  
MSc. José Antonio  
Hernández Hernández

FECHA: MARZO 2026

PROYECTO:  
DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN TRAMO DE CARRETERA DE APROXIMADAMENTE  
6.4 KM ENTRE EL MUNICIPIO DE MALPAISILLO Y LA COMARCA LA LECHUZA,  
EN EL DEPARTAMENTO DE LEÓN, 2026.

CONTENIDO: PLANO SECCION, EST 5+310 – 5+340

ESC: 1:200

LÁMINA

3

7

Figura 45. Plano de secciones EST 5+310 – 5+340

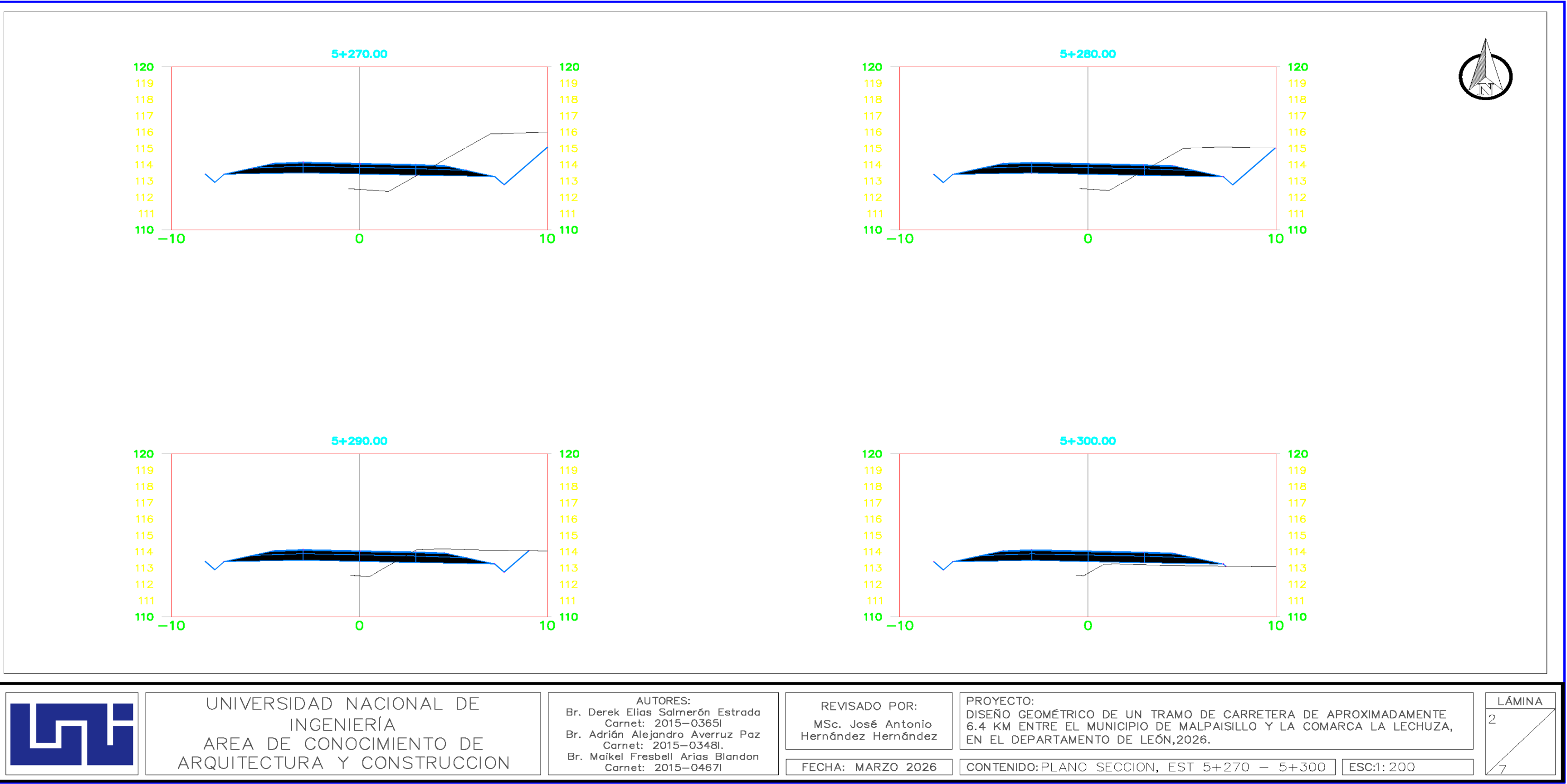


Figura 46. Plano de secciones EST 5+350 – 5+380

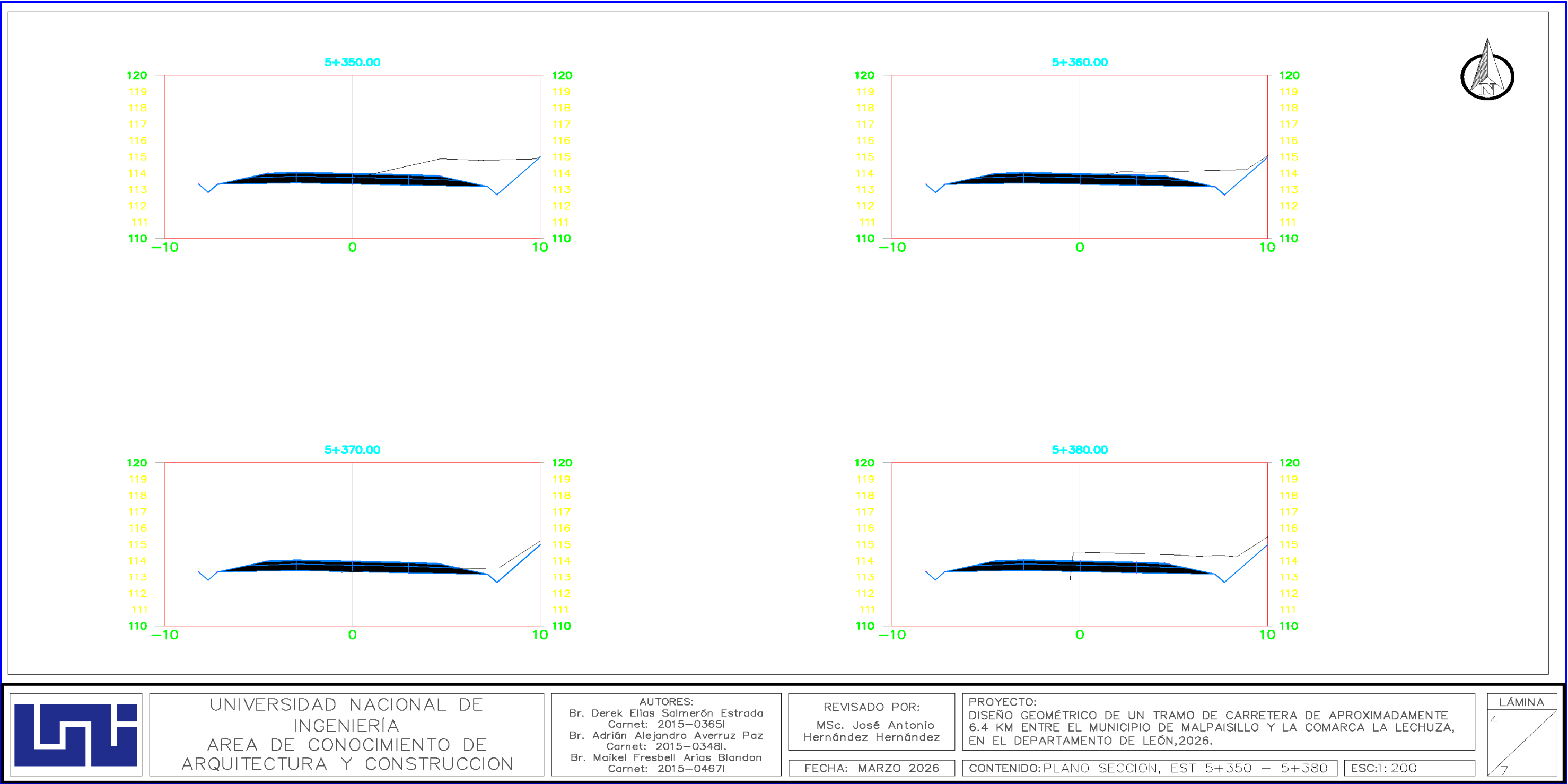


Figura 47. Plano de secciones EST 5+390 – 5+420

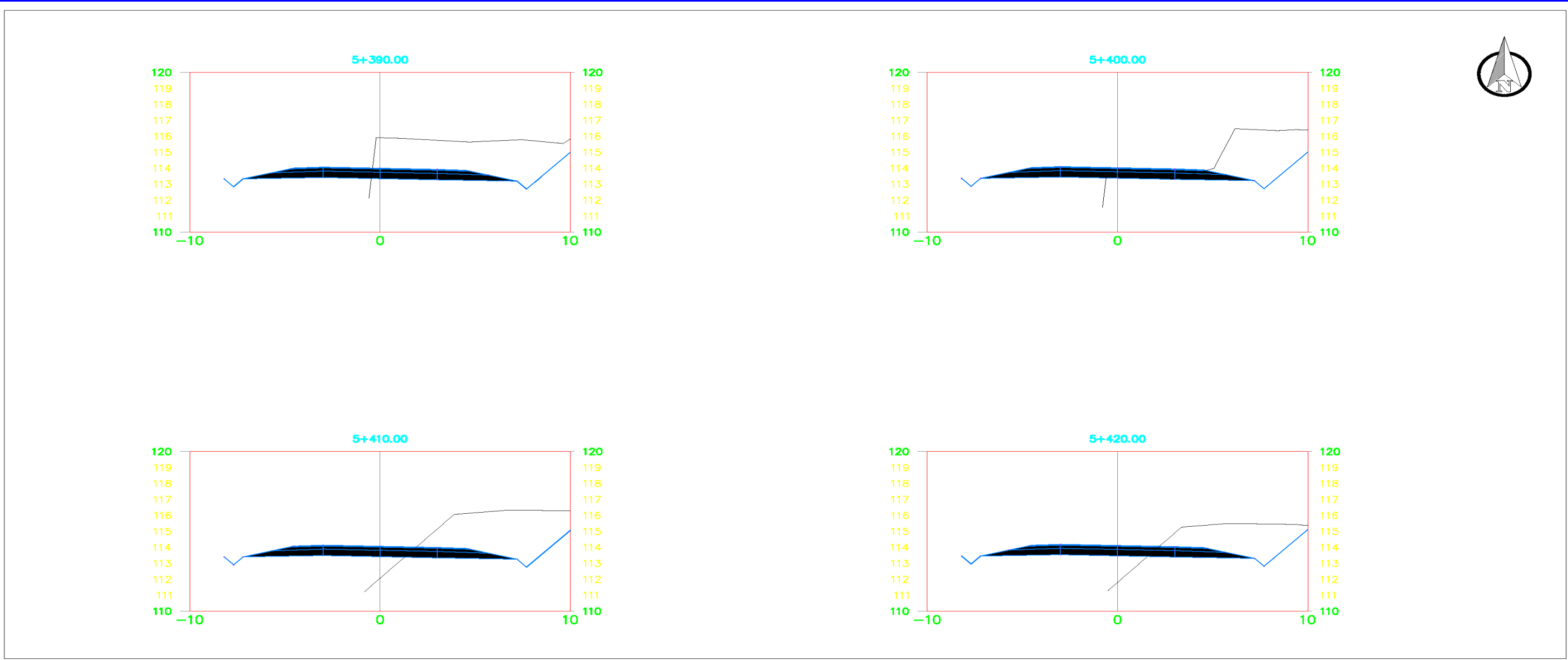


Figura 48. Plano de secciones EST 5+430 – 5+460

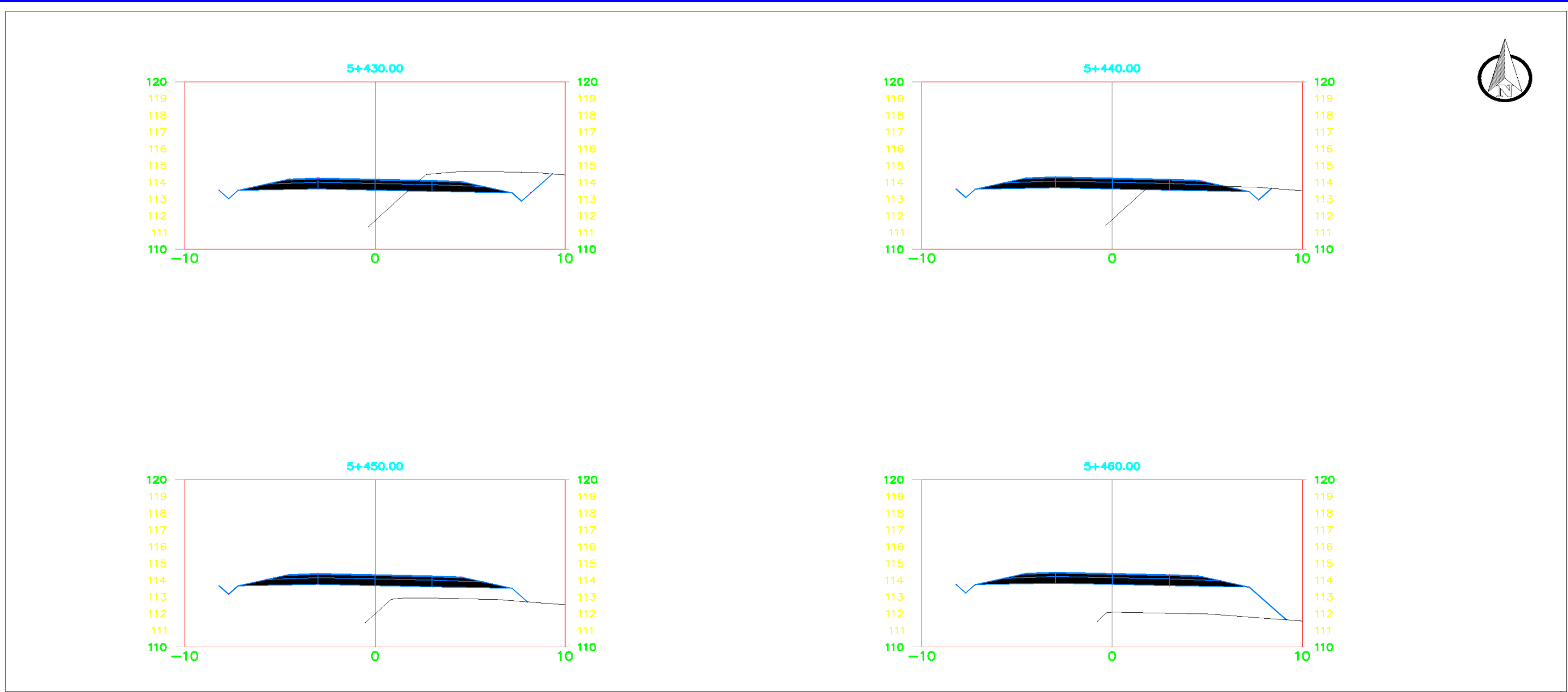
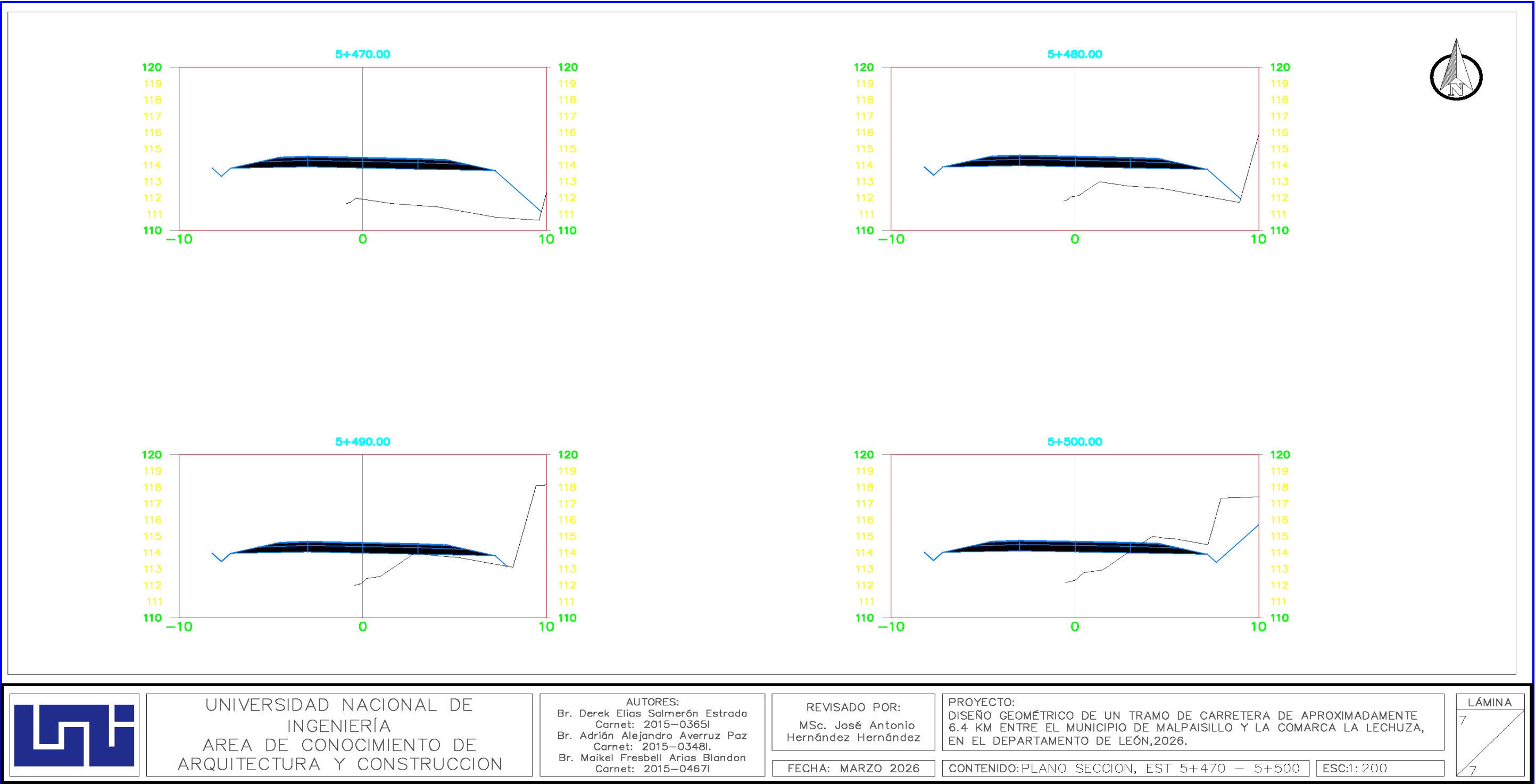


Figura 50. Plano de secciones EST 5+470 – 5+500



**MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1**

|                      |                                                               |                    |             |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|
| CÓDIGO DE ESTUDIANTE | 6C9E4617                                                      |                    |             |
| NOMBRE               | SALMERON ESTRADA DEREK ELIAS                                  |                    |             |
| ÁREA/CUR             | DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN |                    |             |
| CARRERA              | Ingeniería Civil                                              |                    |             |
| TURNO                | Diurno                                                        | SEXO               | M           |
| AÑO MATRICULADO      | 6                                                             | GRUPO              | DIFCE-CIV-S |
| SIT. ESC             | REINGRESO                                                     | AÑO ING. EDUC. SUP | 2015        |

| AÑO | GRUPO    | ASIGNATURA                       |
|-----|----------|----------------------------------|
| 6   | DIFCE-CI | FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS |

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (\*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.**  
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singui.setec.edu.ni/>

Correo:  
Clave:

FECHA: 04/03/2026 11:59:42

Creado Por: ISOZA  
Actualizado Por:

**INICIO DE CLASES:**

**-- NUEVO INGRESO 2026:**

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

**--REINGRESO 2026:**

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica de  
Área de Conocimiento  
Arquitectura y Construcción

La suscrita `secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

**SALMERON ESTRADA DEREK ELIAS**

Carnet **2015-0365I** Con plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **II Semestre del 2020**, quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing.Civil**.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 11 días del mes de abril del año dos mil veintiséis

Atentamente:



**MSc. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez**  
**Secretaría Académica**

📞 Teléfono (505) 8379 8901

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB  
Avenida Universitaria.  
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

✉ beatriz.torrez@uni.edu.ni  
www.registro.uni.edu.ni

**MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE I**

|                             |                                                               |                           |             |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------|
| <b>CÓDIGO DE ESTUDIANTE</b> | 6C603079                                                      |                           |             |
| <b>NOMBRE</b>               | AVERRUZ PAZ ADRIAN ALEJANDRO                                  |                           |             |
| <b>ÁREA/CUR</b>             | DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN |                           |             |
| <b>CARRERA</b>              | Ingeniería Civil                                              |                           |             |
| <b>TURNO</b>                | Sabatino                                                      | <b>SEXO</b>               | M           |
| <b>AÑO MATRICULADO</b>      | 6                                                             | <b>GRUPO</b>              | SIFCE-CIV-S |
| <b>SIT. ESC</b>             | REINGRESO                                                     | <b>AÑO ING. EDUC. SUP</b> | 2015        |

| AÑO | GRUPO    | ASIGNATURA                       |
|-----|----------|----------------------------------|
| 6   | SIFCE-CI | FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS |

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (\*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.**  
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:  
Clave:

FECHA: 02/03/2026 01:13:19

Creado Por: 6C603079  
Actualizado Por:

**INICIO DE CLASES:**

**-- NUEVO INGRESO 2026:**

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

**--REINGRESO 2026:**

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica de  
Área de Conocimiento  
Arquitectura y Construcción

### **CONSTANCIA DE CULMINACION DE ESTUDIOS**

La suscrita secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

#### **AVERRUZ PAZ ADRIAN ALEJANDRO**

Carnet **2015-0348I** Con plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **II Semestre del 2020**, quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing. Civil**.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 26 días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente:



**MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez**  
**Secretaria Académica**

📞 Teléfono (505) 8379 8901

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB  
Avenida Universitaria.  
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

✉ beatriz.torrez@uni.edu.ni  
www.registro.uni.edu.ni

**MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1**

|                      |                                                               |                    |             |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|-------------|
| CÓDIGO DE ESTUDIANTE | 69F04335                                                      |                    |             |
| NOMBRE               | ARIAS BLANDÓN MAIKEL FRESBELL                                 |                    |             |
| ÁREA/CUR             | DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN |                    |             |
| CARRERA              | Ingeniería Civil                                              |                    |             |
| TURNO                | Sabatino                                                      | SEXO               | M           |
| AÑO MATRICULADO      | 6                                                             | GRUPO              | SIFCE-CIV-S |
| SIT. ESC             | REINGRESO                                                     | AÑO ING. EDUC. SUP | 2015        |

| AÑO | GRUPO    | ASIGNATURA                       |
|-----|----------|----------------------------------|
| 6   | SIFCE-CI | FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS |

**LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (\*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.**  
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:  
Clave:

FECHA: 02/03/2026 01:18:46

Creado Por: 69F04335  
Actualizado Por:

**INICIO DE CLASES:**

-- NUEVO INGRESO 2026:

--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO

--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO

--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.

--PRESENCIAL: 9 DE MARZO

--SABATINO: 7 DE MARZO

--DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica de  
Área de Conocimiento  
Arquitectura y Construcción

### **CONSTANCIA DE CULMINACION DE ESTUDIOS**

La suscrita secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

#### **ARIAS BLANDON MAIKEL FRESBELL**

Carnet **2015-04671** Con plan de Estudios **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **I Semestre del 2020**, quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing. Civil**.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 26 días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente:



**MSc. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez**  
**Secretaria Académica**

📞 Teléfono (505) 8379 8901

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB  
Avenida Universitaria.  
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

✉️ beatriz.torrez@uni.edu.ni  
www.registro.uni.edu.ni