

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**“ELECCIÓN MODAL PARA EL TRANSPORTE DE  
PASAJEROS Y PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**WALTER JHONATAN COSME PUMATAY**

**ID: 0009-0002-5661-2260**

**ASESOR**

**MSc. Ing. EDWARD SANTA MARÍA DÁVILA**

**ID: 0000-0001-6789-4983**

**LIMA- PERÚ**

**2025**

© 2025, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Cosme Pumatay, Walter Jhonatan

Correo: [wcosmep@uni.pe](mailto:wcosmep@uni.pe)

Teléfono: 943528785

## **DEDICATORIA**

A Dios, el Omnipotente. Él hasta aquí me ayudó.

Sin Él nada hubiese sido posible.

A mi familia, por su ánimo y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Aguilar y Rosa, por enseñarme y ayudarme desde el primer día de vida. Son mi mejor ejemplo de esfuerzo en fe, trabajo y perseverancia.

A Veronica, mi ayuda ideal, por su apoyo en este tramo, por su cooperación constante, por estar siempre y animarme en todo tiempo.

A mis hermanos, Zoila, Ricardo y Josué, por ayudarme y animarme en el trayecto, siempre veo su dedicación y esfuerzo en lo que hacen, me inspiran.

Al MSc. Edward Santa María, por su orientación, ayuda, paciencia y comprensión. Su disposición a enseñar y motivar en la investigación, ha sido muy importante.

Al Ing. Elifio Quiñonez, un apasionado por los ferrocarriles, por enseñarme sobre vías férreas.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser mi “Alma Máter”.

A mis amigos y compañeros de la Universidad Nacional de Ingeniería, por compartir conocimientos, por motivarme a lograr el objetivo.

A todas las personas que me ayudaron directa o indirectamente en la realización de la tesis.

## ÍNDICE

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| Resumen .....                                            | v   |
| Abstract .....                                           | vi  |
| Prólogo .....                                            | vii |
| Lista de tablas .....                                    | ix  |
| Lista de figuras .....                                   | xi  |
| Lista de símbolos y siglas .....                         | xiv |
| Capítulo I: Introducción .....                           | 1   |
| 1.1. Generalidades .....                                 | 1   |
| 1.2. Planteamiento de la realidad problemática .....     | 3   |
| 1.3. Objetivos.....                                      | 4   |
| 1.3.1. Objetivo general .....                            | 4   |
| 1.3.2. Objetivos específicos. -.....                     | 4   |
| 1.4. Hipótesis.....                                      | 5   |
| 1.4.1. Hipótesis general.....                            | 5   |
| 1.4.2. Hipótesis específicas .....                       | 5   |
| 1.5. Metodología.....                                    | 6   |
| 1.5.1. Metodología para la modelación de la demanda..... | 6   |
| 1.5.2. Metodología para el diseño geométrico .....       | 6   |
| Capítulo II: Marco teórico y conceptual .....            | 7   |
| 2.1. Antecedentes de demanda .....                       | 7   |
| 2.1.1. Modelación agregada y desagregada.....            | 7   |
| 2.1.2. La demanda en el transporte .....                 | 7   |
| 2.1.3. Demanda del transporte en el Perú .....           | 8   |
| 2.2. Antecedentes de ferrocarriles .....                 | 9   |
| 2.2.1. Historia de los ferrocarriles .....               | 9   |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.2. El ferrocarril como modo de transporte .....              | 11 |
| 2.2.3. El ferrocarril central andino .....                       | 11 |
| 2.3. Modelos desagregados de demanda .....                       | 13 |
| 2.3.1. Modelos de elección discreta.....                         | 14 |
| 2.3.2. Propiedades de los modelos de elección discreta .....     | 15 |
| 2.3.3. Teoría de la utilidad aleatoria.....                      | 17 |
| 2.3.4. Modelo logit multinomial (MNL).....                       | 19 |
| 2.4. Preferencias declaradas .....                               | 19 |
| 2.4.1. Definición de preferencias declaradas .....               | 19 |
| 2.4.2. Técnicas de análisis en pd.....                           | 20 |
| 2.4.3. Desventajas de las preferencias declaradas (sesgos) ..... | 21 |
| 2.4.4. Diseño experimental .....                                 | 22 |
| 2.4.5. Tipos de técnicas de experimentos.....                    | 23 |
| 2.4.6. Tratamiento y validación de la información .....          | 26 |
| 2.4.7. Diseño muestral.....                                      | 27 |
| 2.4.8. Estrategias de muestreo en PD .....                       | 28 |
| 2.4.9. Valor social del tiempo (VST) .....                       | 30 |
| 2.4.10. Elasticidades .....                                      | 31 |
| 2.5. Estadística inferencial .....                               | 31 |
| 2.5.1. Definición.....                                           | 31 |
| 2.6. Aspectos generales de ferrocarriles .....                   | 33 |
| 2.6.1. Definición de ferrocarriles .....                         | 33 |
| 2.6.2. Clasificación de sistema ferroviarios .....               | 35 |
| 2.6.3. Diseño geométrico de ferrocarriles. ....                  | 40 |
| 2.6.4. Normas nacionales e internacionales .....                 | 40 |
| 2.6.5. Software para el diseño de ferrocarriles: istram .....    | 41 |
| 2.6.6. Túneles ferroviarios .....                                | 42 |
| Capítulo III: Descripción actual del proyecto .....              | 44 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Contexto actual.....                                                    | 44  |
| 3.2. Demanda .....                                                           | 45  |
| 3.2.1. Demanda de carga del FCCA.....                                        | 45  |
| 3.2.2. Demanda de carga de la Carretera Central .....                        | 49  |
| 3.2.3. Demanda de pasajeros del FCCA .....                                   | 50  |
| 3.2.4. Demanda de pasajeros de la Carretera Central.....                     | 51  |
| 3.2.5. Rutas y usuarios principales del FCCA.....                            | 52  |
| 3.3. Oferta.....                                                             | 54  |
| 3.3.1. Situación actual de las carreteras y vía férrea .....                 | 54  |
| 3.4. Aspectos generales .....                                                | 57  |
| 3.4.1. Localización del proyecto.....                                        | 57  |
| 3.4.2. Zona de influencia del proyecto .....                                 | 59  |
| 3.4.3. Trazo geométrico actual .....                                         | 61  |
| Capítulo IV: Metodología de estimación de la demanda .....                   | 63  |
| 4.1. Modelación de la demanda con preferencias declaradas.....               | 63  |
| 4.1.1. Diseño y tamaño de la muestra .....                                   | 63  |
| 4.1.2. Diseño del experimento de elección de las encuestas de PD .....       | 65  |
| 4.1.3. Especificación del modelo .....                                       | 76  |
| 4.1.4. Diseño de la encuesta de caracterización y preferencias declaradas .. | 78  |
| Capítulo V: Metodología del diseño geométrico .....                          | 80  |
| 5.1. Mejoramiento del trazo geométrico del ferrocarril .....                 | 80  |
| 5.1.1. Criterios generales.....                                              | 82  |
| 5.1.2. Parámetros de diseño geométrico .....                                 | 82  |
| 5.1.3. Evaluación del trazo actual .....                                     | 85  |
| 5.1.4. Trazado geométrico utilizando istram .....                            | 87  |
| Capítulo VI: Análisis de resultados .....                                    | 100 |
| 6.1. Análisis de estimación modal.....                                       | 100 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.1. Análisis estadístico de características socioeconómicas, demográficas y actitudes hacia un nuevo modo de transporte..... | 100 |
| 6.1.2. Estimación del modelo logit binomial .....                                                                               | 113 |
| 6.1.3. Probabilidad .....                                                                                                       | 115 |
| 6.1.4. Estimación del vst.....                                                                                                  | 124 |
| 6.1.5. Elasticidades .....                                                                                                      | 126 |
| 6.2. Análisis del diseño geométrico.....                                                                                        | 127 |
| 6.2.1. Reportes de la geometría .....                                                                                           | 127 |
| 6.2.2. Características de la geometría de la vía del fcca.....                                                                  | 128 |
| 6.2.3. Dibujos .....                                                                                                            | 129 |
| Conclusiones .....                                                                                                              | 132 |
| Recomendaciones .....                                                                                                           | 134 |
| Referencias bibliográficas.....                                                                                                 | 136 |
| Anexos .....                                                                                                                    | 142 |

## RESUMEN

La investigación desarrollada en esta Tesis de Pregrado presenta una aplicación de la técnica de preferencias declaradas, para la construcción de un modelo de elección modal de transporte entre ferrocarril y carretera con la finalidad de proponer un servicio de pasajeros del Ferrocarril Central Andino, y también, plantear un trazo de la vía férrea a nivel conceptual.

Para estimar el modelo de elección modal, se identificaron las variables que influyen en la elección de un modo de transporte, entre las más estudiadas en diferentes investigaciones y utilizadas se encuentran el tiempo de viaje y el costo de viaje. Para observar el comportamiento de la probabilidad de elección de los usuarios frente a una variable latente se decide emplear la comodidad como variable cualitativa. Además, dentro de la encuesta se realizaron preguntas de caracterización para conocer la distribución de usuarios en la elección.

Mediante el uso de encuestas de preferencias declaradas, se puede obtener la preferencia de los usuarios frente a escenarios hipotéticos. Se construyó la encuesta de preferencias declaradas mediante un diseño de experimentos de elección. Se han estimado económicamente modelos de elección de modal de transporte mediante un modelo logit binomial.

Con la base de datos se obtuvo que la probabilidad de captación de pasajeros del modo ferrocarril sería de 59,5 %, dentro de una curva intermedia de probabilidades.

Otro aporte importante es el planteamiento de un trazo conceptual para la vía férrea del Ferrocarril Central Andino, el cual puede servir como base para realizar otros estudios.

Palabras clave: Transporte ferroviario, preferencias declaradas, modelos de elección discreta, demanda de transporte.

## ABSTRACT

The research developed in this Undergraduate Thesis presents an application of the declared preferences technique, for the construction of a modal choice model of transport between rail and road with the purpose of proposing a passenger service of the Central Andean Railway, and also, propose an railway layout at a conceptual level.

To estimate the modal choice model, the variables that influence the choice of a mode of transport were identified, among the most studied in different research and used are travel time and travel cost. To observe the behavior of the probability of choice of users compared to a latent variable, it was decided to use comfort as a qualitative variable. Furthermore, within the survey, characterization questions were asked to know the distribution of users in the election.

By using declared preference surveys, users' preferences can be obtained against hypothetical scenarios. The stated preferences survey was constructed using a choice experiment design. Transport modal choice models have been econometrically estimated using a binomial logit model.

With the database, it was obtained that the probability of attracting passengers from the railway mode would be 59,5 %, within an intermediate probability curve.

Another important contribution is the approach of a conceptual outline for the railway line of the Central Andean Railway, which can serve as a basis for carrying out other studies.

Keywords: Rail transport, stated preference, discrete choice model, transportation demand.

## PRÓLOGO

El Ferrocarril Central del Perú es una de las mayores obras de ingeniería del Perú, su construcción evidencia que los ferrocarriles pueden superar barreras geográficas importantes como los Andes Peruanos. Su sinuoso trazado, que asciende desde la costa limeña hasta las alturas de la cordillera, ha sido testigo del desarrollo económico y social de la zona central durante muchos años. Sin embargo, hoy en día, el ferrocarril enfrenta nuevos desafíos para consolidarse como el eje central del transporte de pasajeros y de carga.

Es en este contexto la investigación desarrollada ha tenido el objetivo de analizar las preferencias declaradas de diversos actores clave para el desarrollo del Ferrocarril Central. A través de un estudio de campo exhaustivo, se realizó un estudio de demanda aproximado para evaluar la factibilidad de una mejora en dicho proyecto.

El impacto de esta investigación se centra en algunos aportes, como comprender las barreras y oportunidades que existen para el desarrollo del ferrocarril, así como proponer soluciones y estrategias basadas en las preferencias declaradas, con el fin de revitalizar el Ferrocarril Central y maximizar su potencial.

Los hallazgos de este trabajo sentarán las bases para futuros proyectos de investigación que profundicen en aspectos específicos del desarrollo del Ferrocarril Central. Entre las líneas de investigación que se podrían explorar se encuentran:

- Análisis de la viabilidad económica de diferentes modelos de gestión y operación del ferrocarril.
- Evaluación del impacto social y ambiental de las propuestas de desarrollo.
- Desarrollo de estrategias de comunicación para promover el uso del ferrocarril entre turistas y población local.
- Investigación sobre nuevas tecnologías que puedan mejorar la eficiencia y seguridad del servicio ferroviario.

En resumen, esta investigación representa un aporte para retomar los proyectos de investigación sobre el desarrollo del Ferrocarril Central del Perú, y de otros ejes similares de transporte. Walter Jhonatan Cosme ha sido persistente en su deseo

de desarrollar este proyecto de investigación, que puede tomarse como un aporte importante al conocimiento de la especialidad ferroviaria.

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla N°2.1 Longitud actual de vías férreas en el Perú .....                                                                            | 11  |
| Tabla N°2.2 Posibles rutas iniciales del Ferrocarril Central Trasandino .....                                                           | 12  |
| Tabla N°2.3 Algunas características de los tipos de experimentos .....                                                                  | 25  |
| Tabla N°3.1 Tráfico Ferroviario de carga .....                                                                                          | 47  |
| Tabla N°3.2 Principales productos transportados por el FCCA (Periodo 2006 – 2022) .....                                                 | 48  |
| Tabla N°3.3 Principales productos transportados por el FCCA.....                                                                        | 49  |
| Tabla N°3.4 Tráfico de carga desviada (proyección).....                                                                                 | 50  |
| Tabla N°3.5 Tráfico de pasajeros en el Transporte Interprovincial, según departamento de destino: 2013 - 2022 .....                     | 51  |
| Tabla N°3.6 Principales rutas del transporte de mercancías del FCCA.....                                                                | 53  |
| Tabla N°3.7 Características de oferta de Carretera Central y rutas alternas .....                                                       | 56  |
| Tabla N°3.8 Tramos y distancias del Ferrocarril Central Andino. ....                                                                    | 56  |
| Tabla N°4.1 Tamaño muestral .....                                                                                                       | 65  |
| Tabla N°4.2 Niveles de atributos.....                                                                                                   | 69  |
| Tabla N°4.3 Índice de planes experimentales de Kocur .....                                                                              | 72  |
| Tabla N°4.4 Plan Maestro 3.....                                                                                                         | 72  |
| Tabla N°4.5 Plan Maestro seleccionado .....                                                                                             | 73  |
| Tabla N°4.6 Plan maestro para diseño de PD.....                                                                                         | 74  |
| Tabla N°4.7 Alternativas de elección para PD .....                                                                                      | 75  |
| Tabla N°4.8 Signos esperados .....                                                                                                      | 77  |
| Tabla N°5.1 Parámetros de diseño geométrico de Ferrocarriles según en RNF                                                               | 80  |
| Tabla N°5.2 Parámetros Funcionales para el diseño del trazado en planta según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140 \text{ km/h}$ ) ..... | 82  |
| Tabla N°5.3 Parámetros Funcionales para el diseño del trazado en alzado según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140 \text{ km/h}$ ) ..... | 83  |
| Tabla N°5.4 Parámetros geométricos para el diseño del trazo en planta según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140 \text{ km/h}$ ) .....   | 83  |
| Tabla N°5.5 Parámetros geométricos para el diseño del trazado en alzado según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140 \text{ km/h}$ ) ..... | 84  |
| Tabla N°5.6 Geometría para diferentes velocidades .....                                                                                 | 85  |
| Tabla N°6.1 Frecuencia de encuestas .....                                                                                               | 101 |
| Tabla N°6.2 MNL1 .....                                                                                                                  | 113 |
| Tabla N°6.3 MNL2 .....                                                                                                                  | 114 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla Nº6.4 Atributos y variables utilizados en Mathcad .....        | 115 |
| Tabla Nº6.5 Valores utilizados para las variables .....              | 116 |
| Tabla Nº6.6 Cuadro de tarifas, tiempos de viaje y probabilidad. .... | 122 |
| Tabla Nº6.7 Rango de ingresos .....                                  | 125 |
| Tabla Nº6.8 Valor Social del Tiempo .....                            | 125 |
| Tabla Nº6.9 Elasticidades directas y cruzadas.....                   | 126 |
| Tabla Nº6.10 Mediciones de materiales.....                           | 128 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N°2.1. Línea de tiempo de primeras leyes ferroviarias en Sudamérica. .... | 9  |
| Figura N°2.2. Rutas aproximadas de la expedición del Ferrocarril Central.....    | 12 |
| Figura N°2.3. Elección de un individuo.....                                      | 14 |
| Figura N°2.4. Teoría de la Utilidad Aleatoria. ....                              | 18 |
| Figura N°2.5. Técnicas de experimentos. ....                                     | 24 |
| Figura N°2.6. Muestra mínima requerida para una MAS. ....                        | 29 |
| Figura N°2.7. Componentes de una infraestructura ferroviaria.....                | 33 |
| Figura N°2.8. Vía ferroviaria.....                                               | 34 |
| Figura N°2.9. Clasificación del material rodante.....                            | 34 |
| Figura N°2.10. Velocidades en Ingeniería Ferroviaria. ....                       | 38 |
| Figura N°2.11. Clasificación de sistemas ferroviarios según su funcionalidad.... | 39 |
| Figura N°2.12. Trazado esquemático de los túneles de San Gotardo. ....           | 43 |
| Figura N°3.1. Causas y efectos de problemas de Transporte en Zona Central. .     | 45 |
| Figura N°3.2. Evolución del tráfico de carga. ....                               | 46 |
| Figura N°3.3. Tráfico ferroviario de carga. ....                                 | 47 |
| Figura N°3.4. Evolución del tráfico de carga. ....                               | 48 |
| Figura N°3.5. Tráfico ferroviario de pasajeros del FCCA.....                     | 51 |
| Figura N°3.6. Tráfico de pasajeros en la Carretera Central.....                  | 52 |
| Figura N°3.7. Principales usuarios del transporte de mercancías del FCCA. ....   | 54 |
| Figura N°3.8. Rutas Alternas a la Carretera Central al 24/01/2020. ....          | 55 |
| Figura N°3.9. Trazo actual del Ferrocarril Central Andino. ....                  | 57 |
| Figura N°3.10. Lugares que atraviesa el trazo actual del FCCA. ....              | 58 |
| Figura N°3.11. Tramo Chosica – San Bartolomé. ....                               | 58 |
| Figura N°3.12. Tramo San Bartolomé - La Oroya. ....                              | 59 |
| Figura N°3.13. Zona de influencia.....                                           | 60 |
| Figura N°3.14. Ruta y estaciones actuales del Ferrocarril Central. ....          | 62 |
| Figura N°4.1. Muestra mínima requerida para una MAS. ....                        | 64 |
| Figura N°4.2. Esquema del proceso del diseño de experimento de PD. ....          | 67 |
| Figura N°4.3. Esquema Proceso 1.....                                             | 68 |
| Figura N°4.4. Procesamiento de información. ....                                 | 76 |
| Figura N°5.1. Diagrama de flujo del Diseño Geométrico de Ferrocarril. ....       | 81 |
| Figura N°5.2. Viaje en el FCCA - Estación San Bartolomé .....                    | 85 |
| Figura N°5.3. Perfil Longitudinal, tramo Chosica - San Bartolomé. ....           | 86 |
| Figura N°5.4. Perfil Longitudinal, tramo San Bartolomé - La Oroya.....           | 86 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura N°5.5. Perfil longitudinal Ruta 4. ....                                        | 87  |
| Figura N°5.6. Imágenes GeoTiff. Elaboración propia. ....                              | 88  |
| Figura N°5.7. Área de explotación de curvas. ....                                     | 89  |
| Figura N°5.8. Curvas de nivel. ....                                                   | 89  |
| Figura N°5.9. Curvas de nivel con escalas de colores. ....                            | 90  |
| Figura N°5.10. Configuración general. ....                                            | 90  |
| Figura N°5.11. Trazo alternativo en planta. Tramo Chosica - La Oroya. ....            | 91  |
| Figura N°5.12. Alienaciones en planta para el trazo horizontal. ....                  | 93  |
| Figura N°5.13. Generación de secciones transversales. ....                            | 93  |
| Figura N°5.14. Perfil longitudinal - Rasantes. ....                                   | 94  |
| Figura N°5.15. Menú Alzado. ....                                                      | 94  |
| Figura N°5.16. Dimensionamiento de vía y traviesa. ....                               | 95  |
| Figura N°5.17. Dimensionamiento de la capa de forma. ....                             | 95  |
| Figura N°5.18. Menú Plataforma. ....                                                  | 96  |
| Figura N°5.19. Definición de túneles y puentes. Elaboración propia. ....              | 96  |
| Figura N°5.20. Dimensión de túneles. ....                                             | 97  |
| Figura N°5.21. Perfil de Obras complementarias. ....                                  | 97  |
| Figura N°5.22. Listado de estructuras complementarias. ....                           | 98  |
| Figura N°5.23. Vista 3D - Vía férrea. ....                                            | 98  |
| Figura N°5.24. Vista 3D - Puente vía férrea. ....                                     | 99  |
| Figura N°6.1. Frecuencia absoluta de edades. ....                                     | 102 |
| Figura N°6.2. Frecuencia relativa de edades. ....                                     | 103 |
| Figura N°6.3. Frecuencia absoluta de sexo. ....                                       | 103 |
| Figura N°6.4. Frecuencia relativa de sexo. ....                                       | 104 |
| Figura N°6.5. Frecuencia absoluta de caracterización según ocupación actual.<br>..... | 105 |
| Figura N°6.6. Frecuencia relativa de caracterización según ocupación actual. ....     | 105 |
| Figura N°6.7. Frecuencia absoluta de caracterización según grado académico.<br>.....  | 106 |
| Figura N°6.8. Frecuencia relativa de caracterización según grado académico. ....      | 106 |
| Figura N°6.9. Frecuencia absoluta de caracterización según motivo de viaje. .         | 107 |
| Figura N°6.10. Frecuencia relativa de caracterización según motivo de viaje. .        | 108 |
| Figura N°6.11. Frecuencia absoluta de caracterización de ingreso mensual. .           | 108 |
| Figura N°6.12. Frecuencia relativa de caracterización según ingreso mensual.<br>..... | 109 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura N°6.13. Frecuencia absoluta de calificación sobre la frase “El ferrocarril como modo de transporte, seguro y rápido.....                                    | 110 |
| Figura N°6.14. Porcentajes de calificación sobre la frase “El ferrocarril como modo de transporte, seguro y rápido. ....                                           | 110 |
| Figura N°6.15. Frecuencia absoluta de calificación sobre uso del ferrocarril....                                                                                   | 111 |
| Figura N°6.16. Porcentajes de calificación sobre el uso del ferrocarril. ....                                                                                      | 111 |
| Figura N°6.17. Frecuencia absoluta de sobre la seguridad en el transporte. ...                                                                                     | 112 |
| Figura N°6.18. Frecuencia relativa de sobre la seguridad en el transporte. ....                                                                                    | 112 |
| Figura N°6.19. Probabilidades vs. Tarifa Ferrocarril (Curva Azul), Tarifa Bus (Curva Roja), Tiempo Ferrocarril (Curva Verde), Tiempo Bus (Curva Magenta).<br>..... | 116 |
| Figura N°6.20. Probabilidades vs. Tiempo Ferrocarril (Curva Verde), Tiempo Bus (Curva Magenta).....                                                                | 117 |
| Figura N°6.21. Probabilidades vs. Tarifa Ferrocarril (Curva Azul), Tarifa Bus (Curva Roja). ....                                                                   | 118 |
| Figura N°6.22. Probabilidad de elección vs. Utilidad del ferrocarril. ....                                                                                         | 118 |
| Figura N°6.23. Probabilidad de elección vs. Diferencia de Utilidades. ....                                                                                         | 119 |
| Figura N°6.24. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. valores de tiempo y costo.....                                                                          | 119 |
| Figura N°6.25. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. Diferencias entre valores de tiempo y costo (Vista 1). Elaboración propia. ....                         | 120 |
| Figura N°6.26. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. Diferencias entre valores de tiempo y costo (Vista 2). Elaboración propia. ....                         | 120 |
| Figura N°6.27. Probabilidades de elección de Ferrocarril vs. Costos. Elaboración propia. ....                                                                      | 121 |
| Figura N°6.28. Ingreso vs. Costos. ....                                                                                                                            | 123 |
| Figura N°6.29. Tarifa que maximiza ingresos.....                                                                                                                   | 124 |
| Figura N°6.30. Listado parcial de alineaciones en planta. ....                                                                                                     | 127 |
| Figura N°6.31. Listado parcial de Rasantes – Alzado. ....                                                                                                          | 127 |
| Figura N°6.32. Características geométricas de la vía.....                                                                                                          | 129 |
| Figura N°6.33. Rotulado de eje.....                                                                                                                                | 130 |
| Figura N°6.34. Dibujo en planta del ferrocarril.....                                                                                                               | 130 |
| Figura N°6.35. Dibujo de perfil longitudinal. ....                                                                                                                 | 131 |
| Figura N°6.36. Dibujo de secciones transversales. ....                                                                                                             | 131 |

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| h        | hora                          |
| km       | kilómetro                     |
| m        | metro                         |
| mm       | milímetro                     |
| m.s.n.m. | metros sobre el nivel del mar |
| s        | segundo                       |

### SIGLAS

|          |                                                                                       |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ADIF:    | Administradora de infraestructura ferroviaria                                         |
| AREMA:   | American Railway Engineering and Maintenance of Way Association                       |
| FCCA:    | Ferrocarril Central Andino                                                            |
| FVCA:    | Ferrovías Central Andina                                                              |
| IGP:     | Instrucciones generales para proyectos de plataforma                                  |
| INEI:    | Instituto Nacional de Estadística e Informática                                       |
| MAS:     | Muestreo Aleatorio Simple                                                             |
| MNL:     | Modelo Logit Multinomial                                                              |
| MTC:     | Ministerio de Transportes y Comunicaciones                                            |
| NAF:     | Norma ADIF Plataforma                                                                 |
| OSITRAN: | Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público. |
| PD:      | Preferencias Declaradas                                                               |
| RENFE:   | Red Nacional de Ferrocarriles Españoles                                               |
| RNF:     | Reglamento Nacional de Ferrocarriles                                                  |
| VST:     | Valor Social del tiempo.                                                              |

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

El movimiento de personas y mercancías es una necesidad que requiere de una infraestructura para realizar desplazamientos. En las últimas décadas, la ingeniería ha experimentado cambios tecnológicos muy favorables que han afectado el volumen de movimientos de pasajeros y carga. En el caso del modo ferroviario, un servicio de tren de alta velocidad, para distancias medias, está cerca al de un avión (De Rus, Campos, & Nombela, 2002).

Por otro lado, el aumento general del tráfico por carretera y de la demanda de transporte ha provocado congestión, retrasos, accidentes y problemas medioambientales mucho más allá de lo que se ha considerado aceptable hasta ahora. Estos problemas no se han limitado únicamente a las carreteras y al tráfico de automóviles. El crecimiento económico parece haber generado niveles de demanda que exceden la capacidad de la mayoría de los medios de transporte (Ortuzar & Willumsen, 2011).

Para proyectar una infraestructura de transporte se debe considerar altamente una variable: el tiempo. Una alternativa para disminuir el tiempo de viaje para distancias medias es el transporte por ferrocarril.

El ferrocarril es un modo transporte eficiente y sostenible que a través de los años ha evolucionado y contribuido al desarrollo de la movilidad de personas y transporte de mercancías, sin embargo, la justificación de la implementación de un ferrocarril debe ir acompañado de un estudio de demanda. Los modelos desagregados de demanda actualmente constituyen una herramienta pertinente para el análisis y estimación de probabilidades de la demanda de transporte (Ortúzar & Román, 2003).

El Perú fue uno de los primeros países en América del Sur en tener leyes ferroviarias y construir ferrocarriles en el siglo XIX, llegando a tener más de 4500 km de vías férreas, y lograr por mucho tiempo tener el ferrocarril más alto del mundo. En la actualidad, las vías férreas del territorio peruano no superan los 2000 km.

Uno de los ferrocarriles más importantes y emblemáticos que tiene el país es el Ferrocarril Central Andino, que tiene una extensión superior a 480 km, con más de 100 años de haberse construido, en su totalidad (Ministerio de Cultura, 2019). El Ferrocarril Central es una de las alternativas para partir la demanda de pasajeros y mercancías que se dirige hacia la Sierra y Selva Central del Perú.

Uno de los problemas actuales que presenta el Ferrocarril Central Andino, es el diseño geométrico debido a sus parámetros limitados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019). Estos parámetros no le permiten alcanzar velocidades entre 80 y 120 km/h; al llegar a estos valores se reduciría el tiempo de viaje, se podría movilizar pasajeros, y se mejorarían los indicadores de desempeño operativo. El mejoramiento del diseño geométrico también implica mitigar y/o reducir los zig-zags, que en su momento fueron una alternativa para ganar altura en el desarrollo longitudinal de la vía.

Para mejorar la movilidad se tiene que identificar y evaluar las variables que influyen en la demanda del proyecto ferroviario, para este estudio se realiza una metodología basada en modelos de elección discreta.

En muchos países se utilizan los modelos de elección discreta para estimar la demanda. En Colombia, se realizó una investigación para predecir la demanda potencial de un tren de pasajeros entre Tunja y Bogotá, donde el 31% de usuarios participaría del nuevo tren de pasajeros (Márquez & Monsalve, 2009).

En la actualidad, Indonesia, está desarrollando un sistema de transporte, donde pretende construir un tren ligero que conecten las ciudades de Yakarta y las ciudades de Bekasi, Depok y Bogor. El desarrollo de este modo se integrará con otros modos; también, se ha realizado investigación de un modelo de elección que pueda explicar la probabilidad de elegir el Yakarta LRT en función de las variables como tarifa y tiempo de viaje (Wulansari & Astari, 2018).

Sin embargo, en el Perú se tiene muy poca bibliografía que puede ser consultada. Cabe indicar que se tiene referencia de especialistas peruanos por algunos estudios realizados.

Para realizar el modelo se identifican las variables de nivel de servicio que influyen en la elección de un modo de transporte, entre ellas las más estudiadas en diferentes investigaciones y utilizadas para el desarrollo de proyectos de

transporte se encuentran el tiempo de viaje y el costo de viaje (tarifa). Adicionalmente para observar el comportamiento de la probabilidad de elección de los usuarios frente a una variable latente, se decide emplear una variable cualitativa.

Mediante el uso de encuestas de preferencias declaradas, basadas en juicios declarados por individuos, se puede obtener la preferencia de los usuarios frente a escenarios hipotéticos, que son planteados próximos a la realidad. Se construye la encuesta de preferencias declaradas mediante un diseño experimental donde se compara la alternativa hipotética de viaje de pasajeros en ferrocarril frente a bus, que es el modo habitual de viaje.

La utilidad de analizar la demanda desde una perspectiva del comportamiento de las personas, permite conocer la probabilidad o cuota de mercado del uso del modo ferroviario por los usuarios que viajan de Lima a Huancayo. Además, se puede conocer otros indicadores importantes en la demanda.

Luego, se estudia el diseño geométrico actual del Ferrocarril Central Andino y mediante un software para el diseño de obras viales se realiza un trazo conceptual del ferrocarril; se elimina restricciones geométricas y se utiliza parámetros de diseño geométrico ferroviario de acuerdo a una normativa.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El crecimiento del tráfico pesado entre la Costa y la Sierra central del Perú, es el reflejo del crecimiento económico del país, en singular en la Sierra y Selva Central. El transporte de carga proveniente de la actividad minera, agrícola, etc., y el aumento de vehículos de transporte de personas, exceden la capacidad con la que fue diseñada la Ruta PE-22, esto incrementa la congestión vehicular en la Carretera Central, como consecuencia, ha disminuido la velocidad media y esto genera problemas como pérdidas de tiempo de viaje. Además, en la Ruta N° PE-22, debido a las precipitaciones pluviales y accidentabilidad de la zona ocurren diferentes huaycos, derrumbes y otros eventos que en muchos casos inhabilitan la Carretera Central que usualmente ocurren en los meses de febrero, marzo y abril.

Otra ruta de acceso hacia la Sierra y Selva Central (La Oroya, Pasco, Huánuco, Huancavelica) es la vía férrea del Ferrocarril Central Andino. Esta vía férrea tiene algunas deficiencias en su diseño, como fuertes pendientes y curvas de radio reducido (Ministerio de Cultura, 2019), que al no tener un diseño geométrico adecuado no puede ofertar un servicio de transporte regular de pasajeros.

Actualmente, el Ferrocarril Central ofrece un servicio turístico y el tiempo promedio de viaje entre Lima y Huancayo es de 12 horas, en 222 km de vía férrea, teniendo aproximadamente una velocidad media de 30 km/h, mientras que el viaje en bus por la Carretera Central tiene una duración promedio de 8 horas.

De acuerdo a la situación que se presenta se plantea, ¿Cómo formular la demanda de pasajeros y proponer un trazo geométrico conceptual mejorado del Ferrocarril Central Andino para mejorar las condiciones de accesibilidad de las personas hacia la zona centro del Perú?

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

Realizar un modelo de elección modal entre transporte por ferrocarril y carretera, lo que incluye una propuesta conceptual del trazo geométrico del Ferrocarril Central Andino para mejorar las condiciones de accesibilidad.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos. -

Evaluar la elección de modo de transporte ferroviario como alternativa de pasajeros, y proponer un modelo de elección modal de demanda basado en las decisiones de los usuarios.

Identificar y evaluar las variables que influyen en la elección de un modo de transporte de pasajeros.

Estimar la probabilidad de elección de modo de transporte de pasajeros entre el modo carretero y una alternativa de ferrocarril.

Proponer un trazo geométrico conceptual y alternativo de la vía del Ferrocarril Central Andino.

#### 1.4. HIPÓTESIS

##### 1.4.1. Hipótesis General

El costo de viaje es proporcional al tiempo de viaje, estas variables independientes influyen en la estimación de la demanda de pasajeros. Asimismo, el trazado geométrico depende de la estimación de la demanda, que para este marco de estudio está basado en encuestas de preferencias declaradas para un servicio de pasajeros del Ferrocarril Central Andino.

##### 1.4.2. Hipótesis Específicas

Los modelos de elección discreta son modelos que predicen el comportamiento de individuos en situaciones decisivas, con estos es posible determinar la disposición a utilizar el modo ferroviario mediante la realización de encuestas de preferencias declaradas.

Las variables que influyen en la elección modal son el costo y el tiempo de viaje. Mediante un estudio de preferencias declaradas se puede determinar la trascendencia de estos atributos.

Al realizar un modelo de elección discreta se puede verificar que la probabilidad de demanda de pasajeros del Ferrocarril Central será similar al modo carretero, es decir, tendrá una aceptación considerable.

El trazo geométrico conceptual de la vía del Ferrocarril Central Andino depende de la estimación de la demanda.

## 1.5. METODOLOGÍA

### 1.5.1. Metodología para la modelación de la demanda

Para realizar la modelación de la demanda se utilizó encuestas de preferencias declaradas, basadas en los modelos de elección discreta que tienen su fundamento en la teoría de la utilidad aleatoria.

Para el diseño de las encuestas se utilizó el diseño experimental factorial fraccional.

Se realiza la recolección de datos, posteriormente se evalúan mediante estadística inferencial.

Se estiman coeficientes de cada atributo con un modelo econométrico, luego se hallan las cuotas de mercado en diferentes escenarios de las variables utilizadas.

Finalmente, se analizan y evalúan los resultados.

### 1.5.2. Metodología para el diseño geométrico

La metodología para el trazo conceptual del Ferrocarril Central inicia recopilando información actual del FCCA. Luego se revisa una normativa que pueda aplicarse; para la realización del trazo conceptual de la vía del ferrocarril dentro del software, se define el modelo digital del terreno, se realiza el trazado en planta y perfil longitudinal, se termina el diseño conceptual con las secciones transversales y posibles obras complementarias.

Finalmente, se debe comprobar que el diseño conceptual cumpla con la normativa empleada.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. ANTECEDENTES DE DEMANDA**

#### **2.1.1. Modelación agregada y desagregada**

La modelación de la demanda del transporte se basa tradicionalmente en dos tipos de modelos: los modelos agregados o de primera generación y los modelos desagregados o de segunda generación.

Los modelos agregados se solían utilizar en estudios de transporte hasta fines de los años 70 del siglo pasado; como es de entender los modelos de primera generación emplean datos agregados. Estos modelos tuvieron críticas debido a su inflexibilidad, poca exactitud y elevado costo. Para realizar estos modelos es necesario disponer de una gran cantidad de datos ya que cada observación resulta de un promedio de un conjunto de datos individuales.

En los años 80, los modelos desagregados llegaron a ser populares ofreciendo ventajas sustanciales sobre los modelos de primera generación. Estos modelos tratan datos a nivel individual, lo que mejora la comprensión de los comportamientos de un viaje, puestos que se basan en la teoría de la utilidad aleatoria, además se hace uso más eficiente de la información. Son modelos más estables en espacio y tiempo; también requiere de un alto conocimiento de habilidades estadísticas y econométricas, para el procesamiento de datos, obtención e interpretación de resultados (Ortúzar & Willumsen, 2011).

#### **2.1.2. La demanda en el transporte**

Según De Rus, Campos, & Nombela (Economía del Transporte, 2002), la demanda del transporte se puede definir como la disposición a pagar que tienen los usuarios o consumidores por hacer uso de una determinada infraestructura o servicio de transporte. La disposición de pago, que refleja la valoración que hacen los usuarios de dichos servicios, se obtiene a partir de sus preferencias sobre las diferentes características de los mismos en comparación con otros bienes que puedan adquirir.

Ortúzar (Modelos de demanda de Transporte, 2000), describe algunas características respecto a la demanda del transporte.

- a) La demanda del transporte es un bien altamente cualitativo y diferenciado; esto debido a que existen distintos motivos de viaje, en diferentes horarios, por diferentes modos. Hay diferentes variables complicadas de analizar y cuantificar.
- b) La demanda del transporte es derivada; los usuarios realizan viajes por la necesidad de realizar diferentes actividades.
- c) La demanda del transporte está localizada en el espacio; la espacialidad de la demanda puede producir problemas de descoordinación que afectan el equilibrio con la oferta.
- d) La demanda del transporte es dinámica; una parte importante de viajes se concentra en algunas horas del día. Si el servicio de transporte no se consume cuando se produce, entonces se pierde.
- e) Para satisfacer la demanda del transporte es necesario proveer infraestructura y unidades que otorguen el servicio.
- f) La provisión de infraestructura es importante desde el punto de vista de la oferta y es caracterizada por su carácter discreto; no tiene sentido construir media estación o media pista de aterrizaje, si bien es cierto puede presentar cierta gradualidad.
- g) La construcción de una infraestructura de transporte no es rápida, tiene un tiempo considerable de construcción.

### 2.1.3. Demanda del transporte en el Perú

Los estudios de demanda realizados en el Perú, en su mayoría, corresponden a modelos agregados; algunos de los últimos estudios se pueden revisar en el portal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Sin embargo, también se han realizado estudios con modelos desagregados como la “Encuesta de recolección de información básica del transporte urbano en el área de Lima Metropolitana de Lima y Callao”, realizado por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) y un modelo para la Línea 1 del Metro de Lima, realizados hace algunos años atrás.

## 2.2. ANTECEDENTES DE FERROCARRILES

### 2.2.1. Historia de los Ferrocarriles

#### 2.2.1.1. Ferrocarriles en el mundo

En la actualidad, la red ferroviaria mundial tiene una gran extensión, más de 1000000 km construidos y operando actualmente. Los continentes que cuentan con mayor longitud de vías férreas son América y Europa (López Pita, 2010).

Un resumen de la historia de los ferrocarriles y su desarrollo se encuentra en el Anexo A.

#### 2.2.1.2. Ferrocarriles en el Perú

En el año 1825, siendo Simón Bolívar, jefe del gobierno peruano, emitió un decreto donde se disponía la apertura de tres “caminos de ruedas” que comunicarían las ciudades de Puno, Arequipa y Cuzco, siendo este el primer plan caminero del Perú. Bolívar había experimentado lo difícil que era trasladarse por el territorio peruano en una visita que realizó al sur del país con motivos de ampliación de planes políticos y entre sus objetivos principales estaba ver las necesidades del pueblo. Se menciona brevemente esta parte histórica porque es necesario conocer de caminos para saber el desarrollo de los ferrocarriles (Regal, 1965).

En 1826 nace la idea, por parte del Ing. Juan Begg y Francisco Quirós, de realizar un camino de hierro entre la Capital y el Puerto del Callao, esta idea fue lanzada a un concurso, para que sea equitativa la propuesta, con esto nace la Primera Ley de Concesión Ferroviaria en Sudamérica. A continuación, en la Figura N°2.1 se muestra una línea de tiempo de las primeras resoluciones y leyes ferroviarias que hicieron en Sudamérica:



Figura N°2.1. Línea de tiempo de primeras leyes ferroviarias en Sudamérica.

Fuente: Historia de los Ferrocarriles de Lima. Elaboración propia.

En Lima se construyó el primer ferrocarril Lima – Callao, las obras se iniciaron en 1849 y concluyeron en 1851, fue la primera línea férrea construida en Sudamérica y también en el hemisferio austral (Regal, 1965), con una longitud de 13.717 km y una gradiente de 1 %.

Hacia el año 1871 había más de 50 proyectos que se habían planeado y más de la mitad de estos ya habían empezado su construcción. Hasta el año 1873 el Perú contaba con 1864.9 km de vías férreas construidas (Pennano, 1979).

Después de esta primera etapa de desarrollo ferroviario, hubo un estancamiento en el desarrollo del sector a causa de la Guerra del Pacífico. Terminada la guerra con Chile se reducen 520.9 km debido a que se cedieron los ferrocarriles correspondientes al departamento de Tarapacá y otros ferrocarriles fueron destruidos, ocurrido en el periodo de 1879 hasta 1884.

Contreras (2011), muestra en el Compendio de Historia Económica del Perú - Tomo IV, el desarrollo ferroviario desde 1851 hasta el año 1933.

En el año 1935, según Contreras (2014), en el Compendio de Historia Económica del Perú – Tomo V, el Ministerio de Hacienda y Comercio contabilizó 4214.3 km de vías férreas que se habían construido hasta ese momento en el Perú; en total se hubiese tenido 4739.8 km de vías férreas, incluyendo las vías que fueron cedidas, y las desmontadas por las empresas de electricidad, 4.614 km en total.

Del año 1935 al 1980, en general, el desarrollo ferroviario fue decreciente. Ver Anexo A. Desarrollo ferroviario

A partir de 1962 el desarrollo ferroviario fue decreciendo, algunas de las líneas férreas fueron destruidas por la violencia que ocurrió en ese entonces, otras cerradas.

En 1986 se inició la construcción del Tren eléctrico, sin embargo, a finales de los 90, habiéndose construido solo 10 km, se interrumpió el proyecto.

Según Newton (Ferrocarriles y Tranvías del Perú, 2010), el Perú al terminar la primera década del siglo XXI contaba con 2528 km de vías férreas en operación, esta información no se valida con los compendios estadísticos realizados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el 2008 y 2015, así también las estadísticas del INEI entre 1990 y 1995.

En la actualidad el Perú cuenta con 1940.6 km de vías férreas que se encuentran siendo utilizadas. En la Tabla N°2.1 se puede ver la vías férreas actuales.

Tabla N°2.1  
*Longitud actual de vías férreas en el Perú*

| Tramo ferrocarril                           | Total (Km)    |
|---------------------------------------------|---------------|
| Ferrocarril Trasandino (Sur, Oriente)       | 989.7         |
| Ferrocarril Central Andino                  | 489.6         |
| Línea 1 del Metro de Lima                   | 34.0          |
| Ferrocarril Huancayo - Huancavelica         | 128.7         |
| Ferrocarril Tacna - Arica                   | 60.0          |
| Ferrocarril Souther Perú Copper Corporation | 217.7         |
| Ferrocarril Caripa - Condorcocha            | 13.6          |
| Ferrocarril Cajamarquilla - Santa Clara     | 7.3           |
|                                             | <b>1940.6</b> |

Fuente: MTC. Elaboración propia

En los últimos años la cantidad de kilómetros construidos solo se ha incrementado en 34 km, que corresponden a la línea 1 del Metro de Lima. En la actualidad, se encuentra en construcción la Línea 2 del Metro de Lima, sin embargo, no se considera dentro de los kilómetros construidos porque se encuentra operando de manera parcial. De acuerdo a la información recopilada se realiza un gráfico del desarrollo ferroviario del Perú desde 1850 hasta el 2018. Ver Anexo A.

#### 2.2.2. El Ferrocarril como modo de Transporte

Para Esveld (Modern Railway Track, 2001), los sistemas ferroviarios son el modo de transporte adecuado para el traslado masivo de pasajeros en distancias cortas, hacia y dentro de grandes áreas urbanas. La calidad del sistema ferroviario se ha incrementado sustancialmente en los últimos años mediante la implementación de grandes redes y los avances tecnológicos. Los trenes pueden ingresar y unir a ciudades de diferentes maneras, a través de túneles especiales, viaductos elevados, a nivel de terreno y esto permite realizar conexiones, cumpliendo con el objetivo de movilizar a los usuarios de manera segura y rápida.

#### 2.2.3. El Ferrocarril Central Andino

En el año 1859, donde gobernaba el mariscal Ramón Castilla, se nombró una comisión que se encargó de recolectar información relativa a un proyecto ferroviario entre Lima y Jauja. Fue en el mes de junio de 1862 que un grupo de

ingenieros, liderados por el Ing. Civil Gerrit Backus, inició una expedición de exploración y propuso las posibles rutas que llegarían del Callao al Valle del Jauja. (Regal, 1965). Este autor y Paz Soldan (Atlas Geográfico del Perú, 1865), mencionan las rutas recorridas en la expedición. Ver la Tabla N°2.2:

Tabla N°2.2  
*Posibles rutas iniciales del Ferrocarril Central Trasandino*

| Ruta | Lugares                                                                                                    | Estado               |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1    | Lima - Matucana - San Mateo - Tarma                                                                        | Posible pero difícil |
| 2    | Lima - Caballero - Yangas - Quebrada de Obrajillo - Casacancha - Pomacancha - Carahuaro                    | Imposible            |
| 3    | Lima - Chancay - subida por Macas - Huamantanga - Alpamarca - Huallay - Cerro de Pasco                     | Imposible            |
| 4    | Lima - Quebrada Lurín - Sicaya -Tupicocha - San Damián - Tuctucocha - Pumacocha - La Oroya - Tarma - Jauja | Sin dificultad       |

Fuente: Atlas Geográfico del Perú. Elaboración Propia.

Fue el Ing. Ernest Malinowski quien estudió los trazos preliminares del proyecto por encargo de Enrique Meiggs, y la ruta 01 fue elegida para la construcción, de la cual se hizo el trazo definitivo y el perfil longitudinal aproximado. Ver Anexo B.

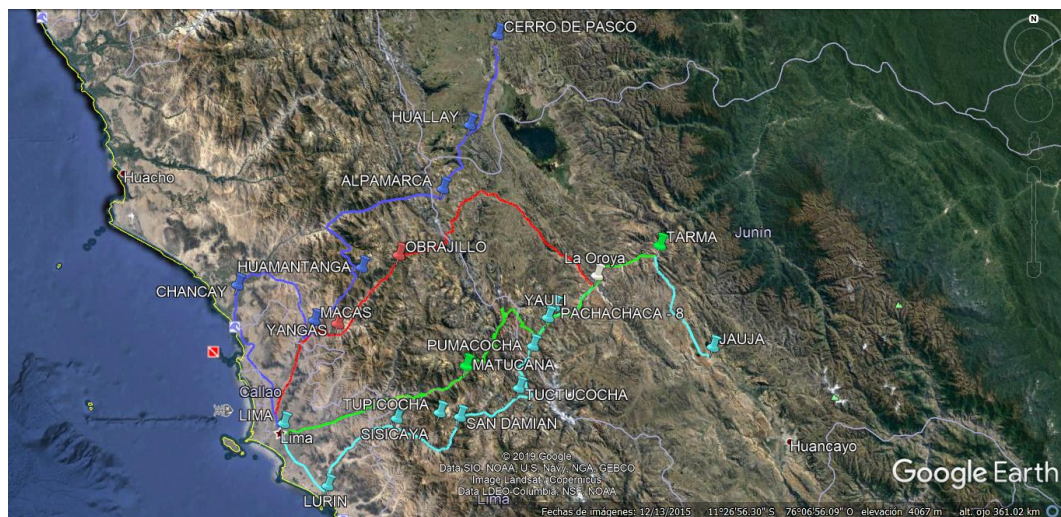


Figura N°2.2. Rutas aproximadas de la expedición del Ferrocarril Central.  
Fuente: Atlas Geográfico del Perú. Elaboración propia.

La Figura N°2.2 muestra aproximadamente las rutas recorridas en la expedición de 1862:

En Google Earth se identificó los lugares que fueron visitados por la expedición para la elección del trazo de la vía férrea.

El 1 de enero de 1870 se inauguró oficialmente los trabajos de construcción del ferrocarril, siendo el primer tramo construido Callao – Lima, llamado División Lima, el tiempo de ejecución fue de 7 meses aproximadamente. El segundo tramo construido fue de Lima a Chosica, en un tiempo de 5 meses aproximadamente. Entre ambos tramos ya había 54 km. (Regal, 1965).

Las principales características técnicas de trazado, y que no han variado mucho a la actualidad, fueron:

- Trocha estándar 1435 mm
- Longitud de vía 54 km
- Gradiente máxima 2.79%
- Número de curvas: 48
- 4 puentes de 7 m de luz, 114 alcantarillas
- Longitud en curva 11.7 km

La primera parte construida por Enrique Meiggs fue de 141 km

Como menciona Regal (1965), para los técnicos de esa época, Chosica era (y sigue siendo) un punto divisorio porque ahí empiezan a cambiar notablemente las condiciones topográficas, geológicas, meteorológicas, variables importantes para el proyecto.

### 2.3. MODELOS DESAGREGADOS DE DEMANDA

Los modelos de demanda desagregados constituyen la herramienta de análisis adecuada para abordar el problema de modelar la demanda del transporte. Estos se basan en el análisis del comportamiento del consumidor de manera individual y cuentan con una base teórica sólida dentro del marco de la microeconomía de las elecciones discretas (Manski & McFadden, 1981) y de la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich & McFadden, 1975). Por esta razón, su aplicación no sólo se extiende dentro del ámbito de la economía del transporte sino en cualquier

contexto relacionado con la economía de las elecciones discretas (Ortúzar, 2000b).

### 2.3.1. Modelos de Elección Discreta

Los modelos de elección discreta, se basan en la teoría de la utilidad aleatoria teniendo como primeras referencias la teoría juicio comparativo en el ámbito de la psicología (Thurstone, 1927). Estudios formalizados en la última cuarta parte del siglo anterior se hicieron por McFadden (1974) y Manski (1977).

Los modelos desagregados son utilizados para la estimación de las aproximaciones econométricas de la demanda, describiendo las elecciones de agentes o decisores sobre un conjunto de alternativas. Los agentes pueden ser familias, individuos, empresas y/o cualquier unidad con capacidad de elegir, y las alternativas pueden ser representadas por productos, medios de transporte, rutas, etc.

Se sustentan en las teorías del comportamiento individual, que postulan:

*La probabilidad de que los individuos elijan una determinada alternativa es función de sus características socioeconómicas y de la relativa atractividad de una alternativa en comparación con las demás.*

Para representar lo atractivo de las alternativas se recurre al concepto de utilidad. Las alternativas por sí mismas no producen utilidad (lo que el consumidor o individuo busca maximizar), sino que esta se deriva de las características de las alternativas, que se pueden describir en términos de atributos como el tiempo, costo, seguridad, confort, etc., y características de los individuos. (Ortúzar, 2000).



Figura N°2.3. Elección de un individuo.  
Elaboración Propia.

En la Figura N°2.3. se muestra un resumido esquema de los conceptos que influyen en la decisión de los individuos.

La utilidad observable se define como una función lineal de las diferentes variables:

$$V_{metro} = 0.10 - 0.12t_v - 0.6t_{acc} - 0.06c_v - 0.03\frac{C}{I} \quad (2.1)$$

Las variables o atributos representan una característica de la alternativa. La influencia de cada atributo está representada por su coeficiente. De la ecuación (2.1) se puede observar que un cambio unitario en el tiempo de viaje ( $t_v$ ) tendría un impacto doble en un cambio unitario en el costo de viaje ( $c_v$ ) o tarifa, y un impacto triple en un cambio unitario sobre la variable ( $C/I$ ). La constante específica, 0.10, de la función de utilidad observable de la alternativa metro, normalmente se interpreta como la representación de la influencia neta de todas las variables de la alternativa y/o individuo que no son observables (variables latentes), que podrían ser confiabilidad, seguridad, etc. (Ortúzar, 2000).

Para predecir si una alternativa es escogida, el valor de la utilidad de la misma se debe comparar con los valores de las utilidades de las otras alternativas, luego convertir estos valores a probabilidad. Existen varias transformaciones matemáticas para lograr estimar los modelos, por ejemplo:

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \quad (2.2)$$

La formulación (2.2) corresponde al modelo logit. Los modelos de elección discreta no pueden ser calibrados con técnicas regresión lineal ya que la variable probabilidad ( $P$ ) es no observada; en realidad se observan las elecciones realizadas a los individuos. Para la estimación se estos modelos de utiliza la técnica de máxima verosimilitud (Ortúzar, 2000).

### 2.3.2. Propiedades de los modelos de elección discreta

De acuerdo al estudio realizado por (Spear, 1977), se muestran algunas propiedades importantes de los modelos desagregados:

- a) Los modelos desagregados se basan en teorías del comportamiento individual y no constituyen analogías físicas de ningún tipo. En consecuencia, al intentar explicar el comportamiento presenta la ventaja de tener mejores posibilidades de ser estables (o transferibles) en el espacio y tiempo que los modelos convencionales.
- b) Los modelos desagregados se estiman usando observaciones del comportamiento de individuos como data de entrada. Esto implica que:
- Los modelos desagregados pueden ser más eficientes en el uso de información que los modelos agregados o convencionales, debido a que cada individuo otorga información, en consecuencia, se requiere menor cantidad de datos.
  - Utilizan datos individuales que permiten ocupar toda la variabilidad inherente a la información.
  - Estos modelos tienen menor probabilidad de sesgos debido a la correlación entre unidades agregadas.
  - Los modelos desagregados basados en el comportamiento pueden ser aplicados a cualquier nivel de agregación, aunque el proceso es ciertamente complicado.
- c) Los modelos desagregados son probabilísticos. Esto implica utilizar los conceptos básicos de la teoría de probabilidades debido a que estos modelos no indican cual es la alternativa elegida sino la probabilidad de elección.
- d) Las variables explicativas que se incluyen en los modelos pueden tener coeficientes explícitamente estimados. Es contrario a lo que ocurre en el caso de coste generalizado de los modelos convencionales, en los que la función está generalmente limitada y presenta parámetros prefijados. Las implicancias sobre esto:
- Los modelos desagregados permiten una representación más flexible de las variables de política consideradas importantes para el estudio.
  - Los coeficientes estimados de las variables explicativas o independientes tienen una interpretación directa que determinan la importancia relativa de estos en la elección.

### 2.3.3. Teoría de la Utilidad Aleatoria

El marco de referencia teórico que presenta Ortúzar (2000) para generar los modelos de elección discreta es la teoría de la utilidad aleatoria (Domencich & McFadden, 1975), (Williams, 1977)), donde se postula que:

- a) Los individuos pertenecen a una determinada población homogénea  $Q$ , actúan de forma racional y poseen información perfecta, esto es, siempre eligen la alternativa que maximiza su utilidad neta personal (por ello se caricaturiza a esta especie como “Homo Economicus”) sujeto a sus pertinentes restricciones legales, sociales, físicas y/o presupuestarias (en tiempo y de dinero).
- b) Existe un cierto conjunto  $A = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A_N\}$  de alternativas disponibles y un conjunto  $X$  de vectores de características de los individuos y atributos, medibles para cada individuo. Cada individuo va a tener un conjunto de atributos  $x \in X$  y, en general, se enfrenta a un conjunto de alternativas de elección disponibles  $A_{(q)} \in A$ . También, se supondrá que el conjunto de alternativas disponibles que eligen los individuos está predeterminado; esto implica que el efecto de las restricciones ya se ha tomado en cuenta y no afecta el proceso de elección entre las alternativas disponibles.
- c) Cada alternativa  $A_i \in A$  tiene asociada una utilidad  $U_{iq}$  conocida para un individuo  $q$ . El investigador siendo un observador del sistema no posee información acerca de todos los elementos que cada individuo considera al realizar su elección; por lo tanto, considera que la utilidad  $U_{iq}$  tiene dos componentes:
  - Una componente medible, sistemática o representativa,  $V_{iq}$  que es función de los atributos medibles  $x$ .
  - Una componente aleatoria  $\varepsilon_{iq}$ , que representa la idiosincrasia y preferencias particulares de cada individuo, e incluye errores de medición y observación que pueda realizar el modelador.

Entonces se plantea:

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (2.3)$$

Con esto se puede explicar dos supuestas irracionalidades: que dos individuos con los mismos atributos y frente al mismo conjunto de elección, opten por alternativas distintas, y que un individuo no elija la mejor alternativa, desde el punto de vista del investigador.

Para que la expresión anterior sea correcta se debe considerar cierta homogeneidad en la población a estudiar. Se requiere que “todos los individuos accedan a las mismas alternativas y enfrenten las mismas restricciones”, para lograr esto se debe segmentar el mercado.

- d) El individuo  $q$  elije la alternativa que tiene mayor utilidad para él, es decir elije  $A_i$ , si y sólo si se verifica:

$$U_{iq} \geq U_{jq}, \forall A_i \in A_{(q)} \quad (2.4)$$

es decir:

$$V_{iq} - V_{jq} \geq \varepsilon_{jq} - \varepsilon_{iq} \quad (2.5)$$

Como se desconoce la diferencia de las componentes aleatorias, y no se puede determinar con certeza si la expresión anterior se cumple, se debe asignar probabilidades. Entonces la probabilidad de elegir  $A_i$  sería:

$$P_{iq} = \text{Prob} \{ \varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + (V_{iq} - V_{jq}), \forall A_i \in A_{(q)} \} \quad (2.6)$$

Al no conocer la distribución de los  $\varepsilon$ , no se sabe la expresión analítica del modelo, solo se sabe que son variables aleatorias con media cero y algún tipo de distribución de probabilidad  $f(\varepsilon) = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ .



Figura N°2.4. Teoría de la Utilidad Aleatoria.  
Elaboración Propia.

En la Figura N°2.4 se muestra un esquema resumido de los postulados de la Teoría de la Utilidad Aleatoria que fueron, mencionados en esta sección.

#### 2.3.4. Modelo Logit Multinomial (MNL)

El MNL es el modelo de elección discreta más sencillo y más utilizado. Se caracteriza por ser generado a partir de funciones IID Gumbel, con media cero e igual varianza. Esto quiere decir que los términos no están correlacionados y poseen la misma varianza a nivel de alternativas. Es bastante utilizado debido a que la integral de la fórmula de probabilidad de elección es cerrada. De esta manera la probabilidad de que un individuo escoja la alternativa  $A_i$ , está dada por:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \quad (2.7)$$

Donde  $\beta$  es un factor de escala que está relacionado con la varianza del término de error  $\beta^2 = \frac{\pi^2}{6\sigma^2}$ . El factor de escala generalmente no es identificable, por lo que es necesario fijar este valor, usualmente se asume  $\beta = 1$ , lo que implica que  $\beta^2 = \pi^2/6$  (Ortúzar & Willumsen, 2011).

#### 2.4. PREFERENCIAS DECLARADAS

Usualmente se han utilizado o se utilizan técnicas de tradicionales para predecir el comportamiento de los usuarios (demanda) de un sistema de transporte, basados en datos sobre elecciones reales u observadas; esta información en conjunto es denominada Preferencias Reveladas (Ortúzar, 2000b). Sin embargo, para modelar la demanda, existen otras técnicas como las Preferencias Declaradas que es una alternativa interesante de recolección de datos que permiten tener una información de calidad a bajo costo.

##### 2.4.1. Definición de Preferencias Declaradas

Son un conjunto de metodologías que se basan en datos declarados por los individuos acerca de cuáles serían sus preferencias frente a diversos escenarios hipotéticos contruidos por un investigador en un diseño experimental (Ortúzar, 2000b).

La metodología de Preferencias Declaradas (PD) requiere del diseño de una encuesta con un objetivo específico que dependerá del estudio a realizar.

Las alternativas de elección a plantear a los usuarios o encuestados son descripciones o contextos contruidos por el investigador, diferenciados por el nivel que toman sus atributos.

De acuerdo a Ortúzar (2000), respondiendo a los problemas que presentan las preferencias reveladas, el enfoque de Preferencias Declaradas presenta ciertas ventajas, como:

- Construir escenarios que reduzcan a cero las correlaciones entre variables explicativas (ortogonalidad), que en situaciones normales pueden ser muy altas.
- Aislar efectos totalmente de variables de especial interés.
- Incorporar variables secundarias, no existentes o que hoy en día no exhiban suficiente variabilidad (seguridad, confiabilidad etc.)
- El diseño experimental permite considerable flexibilidad en la futura especificación del modelo de demanda, no restringiendo su forma funcional a la típica expresión lineal sin interacciones entre variables.
- Generar múltiples respuestas por cada individuo. Esto permite estimar modelos de buena calidad estadística a bajo costo.
- Por construcción, no existe error de medición en los datos (variables independientes)

#### 2.4.2. Técnicas de análisis en PD

Según Kroes & Sheldon (Stated Preference Methods: An Introduction, 1988), existen diferentes técnicas de preferencias declaradas bajo una amplia variedad de nombres. Los cuales las más conocidas son:

- Análisis conjunto (Conjoint analysis)
- Medición Funcional (Functional measurement)
- Análisis de compromisos (Trade-off analysis)
- El método de transferencia de precio (The transfer price method)

Existe alguna confusión sobre los nombres de los métodos, y no se ha delimitado el alcance de cada uno. Sin embargo, los primeros tres se refieren a un enfoque general único que utiliza procedimientos de diseño experimental para generar opciones de transporte para ser evaluadas por los encuestados.

El cuarto método, Método de transferencia de precio, es diferente en algunos aspectos y menos utilizado.

#### 2.4.3. Desventajas de las Preferencias Declaradas (Sesgos)

Una de las más grandes desventajas de las Preferencias Declaradas frente a las Preferencias Reveladas es que puede existir una gran diferencia entre lo que el individuo elija ante cierto escenario y lo que realmente haría en caso se presente. Esto podríamos llamarlo como un error aleatorio (Ortúzar, 2000).

También, existen ciertos errores no aleatorios o sesgos o predisposiciones de los encuestados y/o interacción entre quien hace la encuesta y el encuestado, que pueden distorsionar la información captada.

De acuerdo a Ortúzar (2000), se mencionan cuatro sesgos asociados a las Preferencias Declaradas que serían los responsables de distorsionar la información.

- *Sesgo de afirmación.* El encuestado puede, de una manera consciente o inconsciente, sentirse tentado a responder de acuerdo a lo que el encuestador desea obtener.
- *Sesgo de racionalización.* El entrevistado intenta ser racional al responder con el fin de justificar sus respuestas al momento de la entrevista.
- *Sesgo de política.* El encuestado puede responder deliberadamente en forma sesgada con el fin de influir en las decisiones o políticas que él cree que se ejecutarán en base a los resultados.
- *Sesgo de no restricción.* El encuestado puede responder de manera irreal si es que no considera las restricciones prácticas sobre su comportamiento.

#### 2.4.4. Diseño Experimental

Un experimento de PD tiene como uno de sus principales elementos la construcción de un conjunto de alternativas hipotéticas (realistas) que se consideran como alternativas tecnológicamente factibles.

De acuerdo a lo descrito por Ortúzar (2000) y en el Manual de Encuestas de Movilidad (Ibeas, Gonzales, Dell'Olio, & Moura, 2015) , se puede mencionar los principales pasos o etapas para un estudio de diseño de preferencias declaradas.

- a) Identificar conjuntos de elección (alternativas: bus, tren, auto, etc.), selección de variables o atributos a considerar, determinar el número niveles y rango de variación más probable, seleccionar las unidades de medidas de los atributos.
- b) Definir el tipo de diseño que se utilizará.
- c) Preparar una versión inicial del experimento, diseñando un borrador del cuestionario a emplear como instrumento de medición.
- d) Realizar reuniones focales (focus group), con la finalidad de mejorar el cuestionario. Los participantes completan el cuestionario, se evalúa, se debate y se mejora.
- e) Evaluar el resultado de la etapa anterior y rediseñar el instrumento de medición, de ser necesario.
- f) Realizar una encuesta piloto para evaluar los resultados y rediseñar el instrumento de medición.
- g) Realizar una simulación para verificar si el instrumento de medición permite recuperar los valores de los parámetros de cada atributo.
- h) Crear el diseño final de la encuesta.
- i) Realizar la encuesta.
- j) Procesar la información: digitación, codificación y validación.

De acuerdo a la sugerencia que describe Ortúzar (2000), en estudios en los que se necesita una respuesta rápida, se pueden omitir algunos de los pasos anteriores, o bien realizar algunos de ellos informalmente. De otra manera, el primer punto es importante y clave para un buen diseño y, en consecuencia, requiere un análisis minucioso.

#### 2.4.4.1. Tipos de Diseño Experimental

Existen diferentes tipos de diseño, entre ellos se encuentran el diseño factorial, factorial fraccionado, diseño ortogonal, diseño eficiente, bayesiano y los no balanceados. Para el objetivo de tesis solo se describen algunos de estos.

- *Diseño factorial.* Los diseños factoriales son diseños de experimentos en los cuales cada nivel de cada atributo se combina con todos los niveles de los demás atributos. Considera efectos principales y secundarios. Si  $a$  es el número de atributos y  $n$  el número de niveles de cada atributo, el número total de opciones que sería necesario incluir en el experimento para identificar los efectos principales e interacciones de todas las variables en un modelo lineal es  $na$ . Por ejemplo, si se tiene un diseño con dos atributos a dos niveles y tres atributos a tres niveles, el número de opciones resultantes sería 108 ( $2^2 \times 3^3$ ) (Espino, Ortúzar, & Román, 2004), (Soler Martínez, 2016)).
- *Diseño factorial fraccionado.* El diseño factorial fraccionado solamente considera un subconjunto de las situaciones de elección, este conjunto reducido considera solamente los efectos principales debido a que descartan las interacciones de algunos o todos los atributos suponiendo que tienen una influencia irrelevante en la respuesta ((Espino et al., 2004), (Soler Martínez, 2016)).
- *Diseño ortogonal.* Los diseños ortogonales hacen que los niveles de los diferentes atributos estén balanceados y todos los parámetros son estimables en forma independiente, es decir, no hay correlación entre los niveles de los atributos (Ibeas, Gonzales, Dell'Olio, & Moura, 2015).

#### 2.4.5. Tipos de técnicas de experimentos

De particular interés resultan las técnicas de análisis conjunto (Conjoint Analysis), de gran uso en marketing y otras ciencias sociales, por ser aplicables a diversos estudios y por el fundamento teórico.

Estos métodos tienen como base separar los atributos de cada alternativa en un cierto número de niveles; estos se definen en una forma estadísticamente eficiente, que permita descomponer la respuesta del experimento como función de ellos (Ortúzar, 2000).

Dependiendo del tipo de respuesta adecuado para el experimento, se puede distinguir tres categorías importantes:

#### 2.4.5.1. Escalamiento (Rating)

“En el escalamiento, para cada alternativa (también llamada tratamiento) la respuesta es dada en una escala semántica o numérica que puede expresar grado de preferencia (satisfacción, atractivo, probabilidad de uso), y luego puede ser transformada a una escala de utilidad. Comúnmente se relaciona dicha utilidad con los atributos de los tratamientos mediante análisis de regresión” (Ortúzar, 2000, pág. 62).

#### 2.4.5.2. Jerarquización (Ranking)

En las jerarquizaciones, el encuestado ordena las alternativas que se le presenta de acuerdo a su preferencia (Ortúzar & Román, 2003). Las jerarquizaciones requieren información menos precisa del parte del encuestado que en el caso de escalamiento, sin embargo, implica un análisis más complejo. Existe una variedad de técnicas de estimación que, sobre la base de ciertas heurísticas, permiten encontrar una función de utilidad consistente (Ortúzar, 2000).

#### 2.4.5.3. Choice (Elección)

El encuestado selecciona en cada escenario (conjunto de alternativas) presentado la alternativa que le genera mayor utilidad (preferencia) o mejor dicho elige la alternativa que considere mejor (Ibeas et al., 2015). Este tipo de experimento es bastante sencillo y es que más se parece a lo que los usuarios hacen en la vida real. La estimación en este caso, requiere utilizar técnicas de elección discreta, tales como los modelos Logit y Probit (Ortúzar, 2000).

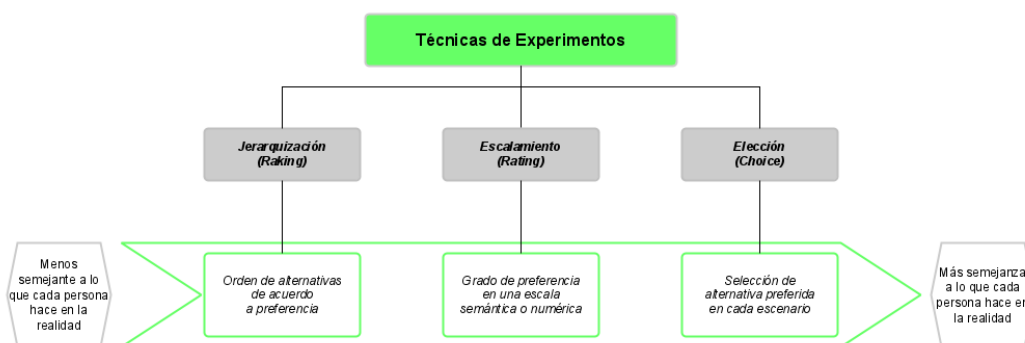


Figura N°2.5. Técnicas de experimentos.  
Elaboración propia.

Una de las características de los tipos de experimentos es la semejanza con la realidad que tienen los individuos al encontrarse frente a las encuestas de preferencias declaradas. En la Figura N°2.5, se muestra la forma en que los usuarios declaran su preferencia, y se aprecia de izquierda a derecha la semejanza con la realidad en el proceso de ejecución del entrevistado.

Algunas de las principales características de las técnicas de recolección de datos están asociadas al tiempo y dificultad tanto en la recolección y análisis de datos. En la Tabla N°2.3 se muestra algunas características para comparar que tipo de experimento se puede elegir al ejecutar preferencias declaradas (Garrido H. & Ortúzar Salas, 1991).

Tabla N°2.3  
*Algunas características de los tipos de experimentos*

| <b>Tipo de Experimento:</b> | <b>Jerarquización</b> | <b>Escalamiento</b> | <b>Elección</b> |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| Tiempo de ejecución         | Alto                  | Medio               | Bajo            |
| Proceso realista            | Bajo                  | Medio               | Alto            |
| Versatilidad                | Baja                  | Alta                | Media           |
| Confiability                | Media                 | Alta                | Alta            |
| Tiempo de análisis          | Alto                  | Medio               | Bajo            |

Fuente: Evaluación de técnicas de recolección de datos sobre preferencias declaradas (Garrido H. & Ortúzar Salas, 1991). Elaboración propia.

Según Garrido H. & Ortúzar Salas (1991), en su investigación realizada, los tres experimentos son razonables en su bondad de ajuste, significación de coeficientes y signos, valores subjetivos del tiempo (términos que se verán más adelante),

El tiempo de ejecución resulta mayor en el tipo Jerarquización debido a la cantidad de tarjetas que debe ordenar el encuestado.

El proceso realista está asociado al grado de dificultad del experimento, la jerarquización resulta ser más compleja, debido a que esta menos relacionada con el proceso de decisión en la vida real de una persona. El tipo elección resulta ser más simple de responder para las personas puesto que son elecciones binarias equivalentes a casos reales (Garrido H. & Ortúzar Salas, 1991).

La versatilidad está relacionado a considerar distintas estructuras de modelación, esto puede permitir más de una forma de análisis como en el caso del

escalamiento, que se puede estimar con regresión lineal y modelos de elección discreta. En la elección se puede utilizar diferentes modelos de elección discreta.

La confiabilidad de la data recolectada depende en gran medida de la comprensión por parte del entrevistado y la capacidad de llevarlo a cabo satisfactoriamente. La jerarquización es más compleja y requiere mayor tiempo, El escalamiento y la elección tienen alto grado de confiabilidad porque minimizan los problemas de la jerarquización.

El tiempo de análisis se refiere a la preparación de los datos para estimar los modelos, también la detección de inconsistencias y depuración de datos. En la tabla anterior se visualiza la valoración en base a la investigación de Garrido H. & Ortúzar Salas (1991).

#### 2.4.6. Tratamiento y validación de la información

El objetivo principal del análisis de los datos de PD es descomponer las preferencias, expresadas en cada experimento, en utilidades individuales de cada una de las alternativas planteadas en la encuesta, para posteriormente establecer el efecto singular de cada atributo sobre las utilidades. Existen diversas maneras de realizar esto, es decir, de estimar los parámetros (valores que representan el efecto de cada atributo en la decisión de elección) de las funciones de utilidad (Ortúzar, 2000).

Cada tipo de experimento requiere de un tratamiento distinto. A continuación, se mencionan algunas técnicas para el tratamiento y validación de los datos.

##### 2.4.6.1. Técnicas de regresión

Emplean el principio de mínimos cuadrados para analizar respuestas de escalamientos. Aquí el modelo entrega como resultado aquellas utilidades de cada alternativa que minimizan las diferencias (suma de cuadrados) entre los escalamientos predichos y los proporcionados por el encuestado.

##### 2.4.6.2. MONANOVA (*Monotonic analysis of variance*)

El análisis monotónico de la varianza es una técnica desarrollada específicamente para analizar experimentos de jerarquización, basándose en un proceso de minimización que conduzca a una solución óptima, compuesta por las utilidades parciales de cada alternativa, para las cuales la jerarquización predicha

corresponda más fielmente a la jerarquización entregada por el encuestado. El método no produce estadísticos de bondad de ajuste y es muy restrictivo en términos de la especificación de las utilidades, por lo que su utilización no es muy popular en estudios de transporte (Ortúzar, 2000).

#### 2.4.6.3. Modelos de Elección Discreta

Estas técnicas estadísticas son avanzadas para el análisis de datos de PD (desarrollados en un inicio para análisis de datos de preferencias reveladas). Son bastante utilizados por su robustez y aplicabilidad en experimentos de elección, así también en escalamientos y jerarquizaciones. La estimación se basa en el principio de máxima verosimilitud (Ortúzar, 2000).

#### 2.4.7. Diseño muestral

- *Muestra.* Es el conjunto de unidades que han sido seleccionadas para representar de manera adecuada una población que tiene ciertas características que son importantes para una investigación.
- *Población de interés.* Es el grupo sobre el cual se busca información. La población de interés se compone de elementos individuales. Para seleccionar una muestra se trabaja sobre la base de las unidades muestrales, que no siempre es equivalente a los elementos individuales.
- *Error muestral.* Este error es fundamental porque se trabaja con una muestra y no con la población, cabe decir que siempre estará presente y ocurrirá por factores aleatorios. Este error no afecta los valores esperados de los promedios de los parámetros a estimar. Afecta la variabilidad inherente al parámetro en estudio.
- *Sesgo muestral.* Surge debido a errores cometidos al definir la población de interés, seleccionar el método de muestreo, técnica de recolección de datos y/o cualquier otra parte del procedimiento.

##### 2.4.7.1. Métodos de muestreo

Existen diferentes tipos de muestreo, la mayoría se basa en el muestreo aleatorio. Lo importante es que la selección de cada unidad se haga en forma independiente y tenga la misma probabilidad de ser elegida en la muestra. De acuerdo a Ortúzar (2000), se describen algunas definiciones de muestreo:

- *Muestreo aleatorio simple (MAS)*. Es un método sencillo que sirve como base de los otros métodos. Consiste en asociar un número de identificación a cada unidad de la población y luego escogerlos al azar, de esa forma se obtiene la muestra.
- *Muestreo aleatorio estratificado*. Este método utiliza información previa para subdividir la población en estratos homogéneos, y luego se realiza un MAS en cada estrato. Además, es bastante útil, pues permite asegurar la obtención de proporciones correctas de cada estrato en la muestra. Este método incluso se puede aplicar después de haber recolectado datos mediante un MAS, para esto se deben ajustar los resultados de tal manera que cada estrato quede representado de manera correcta. Este procedimiento es válido siempre y cuando existe una muestra bastante grande dentro de cada estrato.

#### 2.4.8. Estrategias de muestreo en PD

Los experimentos de PD son estadísticamente eficientes, en el sentido de que cada entrevistado no produce una única observación sino múltiples en el mismo entorno de elección, en consecuencia, las muestras son más pequeñas que un estudio de Preferencias Reveladas. Es apropiado realizar entre 75 y 100 encuestas por segmento de mercado a estudiar (Ortúzar & Willumsen, 2008).

De acuerdo a Ortúzar & Willumsen (2008) sugiere que para estimar la demanda futura es necesario encuestar a varios usuarios con la finalidad de obtener resultados representativos, para lograr esto se debe incorporar las variaciones entre usuarios y las producidas por un mismo usuario. Esto se logra con una muestra adecuadamente dimensionada y representativa.

La población objetivo deben ser usuarios que emplean el transporte público para realizar algún viaje dentro de la zona de estudio.

Por otro lado, Louviere, Hensher, & Swait (Stated Choice Methods: Analysis and Application, 2000) indican que: La teoría estadística elemental demuestra el resultado de que la distribución de muestreo asintótica (es decir, la distribución como  $n$ ) de una proporción  $p_n$ , obtenida por un MAS de tamaño  $n$ , es normal con media  $p$  (la proporción real de la población) y varianza  $pq / n$ , donde  $q = 1-p$ . Si deseamos estimar la proporción verdadera dentro del a por ciento del valor

verdadero  $p$  con capacidad de propagación  $\alpha$  o mayor, entonces debemos encontrar el tamaño mínimo de muestra necesario para satisfacer el requisito de que  $\text{Prob}(|p_n - p| \leq ap) \geq \alpha$ , alguna manipulación algebraica dará como resultado la siguiente expresión para el tamaño mínimo de la muestra:

$$n \geq \frac{q}{rpa^2} * \Phi^{-1}\left(\frac{1 + \alpha}{2}\right) \quad (2.8)$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$\Phi^{-1}(\_) =$  Inversa acumulada de la función de distribución normal ( $z^2$ )

$p$  = proporción verdadera

$a$  = precisión relativa (error muestral admisible)

$\alpha$  = nivel de confianza

$r$  = número de escenarios

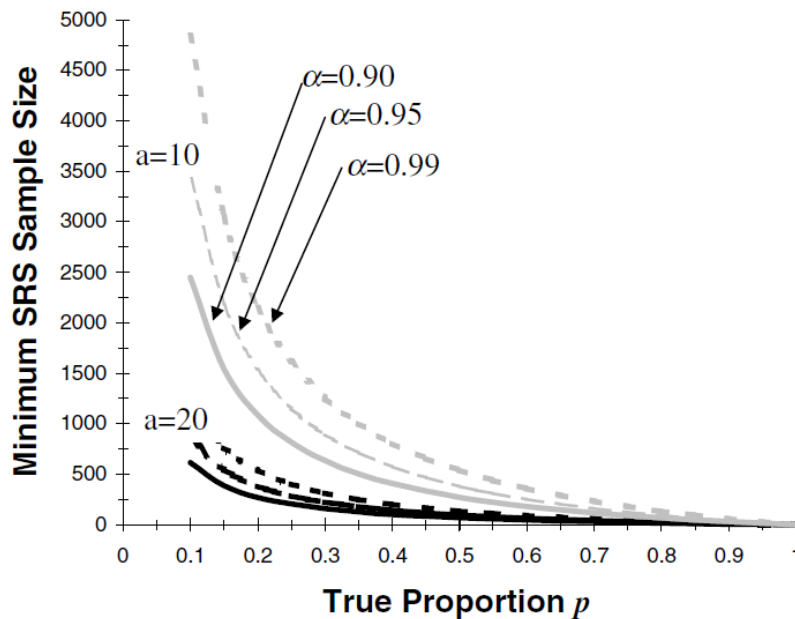


Figura N°2.6. Muestra mínima requerida para una MAS.

Fuente: Stated Choice Methods (Louviere, Hensher, & Swait, 2000, pág. 263).

La Figura N°2.6 muestra cómo se comporta el tamaño de muestra requerida en función de la proporción verdadera  $p$ , la precisión relativa  $a$  (10%, 20%) y la probabilidad  $\alpha$  (0.90, 0.95 and 0.99). De acuerdo con la ecuación (2.8), los requerimientos del tamaño de la muestra son bastante modestos para

proporciones altas (por encima de 0,5), pero se vuelven proporciones muy altas (es decir, raras) para proporciones bajas y alta precisión relativa y niveles de confianza. De hecho, puede resultar bastante elevados los costos para obtener estos tamaños de muestra a proporciones muy bajas (Louviere, Hensher, & Swait, 2000).

#### 2.4.9. Valor social del tiempo (VST)

El valor social del tiempo es el costo de oportunidad del tiempo que cada persona utiliza a lo largo de su vida en el caso particular del tiempo destinado a transportarse, es la disposición que cada persona tiene a pagar por reducir sus tiempos de viaje o la compensación que está dispuesta a recibir por perder tiempo. Un precio social, es la valorización social de los bienes o servicios que se deducen a partir de sus usos alternativos o escasez relativa. Así, el valor social del tiempo es el costo o beneficio para la sociedad de tener tiempo disponible para realizar otra actividad diferente a viajar (Calmet & Capurro, 2011).

Para calcular el VST, se pondera el valor de tiempo destinado a viajes de trabajo y de ocio (por hora) por la proporción que se realiza para cada una de estas actividades, respectivamente.

Entonces, se tiene

$$VST = \alpha_1 \cdot w_1 + \alpha_2 \cdot w_2 \quad (2.9)$$

Donde:

VST, representa el valor social del tiempo de viaje del usuario promedio del vehículo.

$w_1$ , es el valor del tiempo de trabajo del usuario.

$w_2$ , es el valor del tiempo de ocio del usuario.

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$ , son los porcentajes de viajes de trabajo y ocio del usuario, respectivamente.

Según información del Banco Mundial, el valor del tiempo de ocio se considera 30% del valor de tiempo del trabajo del usuario.

#### 2.4.10. Elasticidades

Se entiende por elasticidad el cambio porcentual en la probabilidad de elegir cierta alternativa  $A_i$ , de un conjunto de alternativas  $A_q$ , a consecuencia de variaciones en el valor de los atributos de la misma alternativa  $A_i$  (Elasticidad Directa), o de otra alternativa  $A_j$  (Elasticidad Cruzada), que también pertenezca al conjunto  $A_q$  (Alvarez, 2009).

La elasticidad directa de un MNL respecto a un atributo ( $X_{ikq}$ ) se calcula de la siguiente manera:

$$E_{piq}X_{ikq} = \beta_{ik}X_{ik}(1 - P_{iq}) \quad (2.10)$$

Y para la elasticidad cruzada se tiene:

$$E_{piq}X_{jkq} = -\beta_{jk}X_{jk}P_{jq} \quad (2.11)$$

Esta ecuación permite estimar la variación de la probabilidad de elegir una alternativa  $A_i$  cuando se produce un cambio en el valor de un atributo de otra alternativa  $A_j$  de un individuo  $q$ .

### 2.5. ESTADÍSTICA INFERENCIAL

#### 2.5.1. Definición

En Modelos econométricos de elección discreta (Ortúzar, 2000b), se menciona que la Inferencia Estadística tiene por objeto tratar de deducir ciertas características de una población a partir de una muestra.

Los parámetros poblacionales usualmente denotados por las letras griegas  $\mu$  y  $\sigma$  son desconocidos, y los parámetros muestrales ( $\bar{x}$ ,  $s$ ) se obtienen de la muestra. Y usualmente se denota como  $\hat{\theta}$  a un estimador de la característica poblacional  $\theta$ ; obviamente  $\hat{\theta}$  es una función de la muestra.

$$\hat{\theta} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.12)$$

Existen diversos métodos para estimar parámetros, uno de los más conocidos es el de *máxima verosimilitud*.

Los principales supuestos son los siguientes:

- La muestra es aleatoria, hay independencia de selección en selección y toda la muestra corresponde a la misma población.
- Se conoce la función de distribución de la población, con excepción del parámetro de la característica poblacional.

Con esto se puede elegir un estimador de modo que las variables se ajusten de la mejor forma posible a la distribución supuesta.

Algunas propiedades de un buen estimador son las siguientes:

- Debe ser insesgado,  $\hat{\theta}$  no es sesgado si  $E(\hat{\theta}) = \theta$ , esto ocurre si el valor esperado es igual valor de la característica poblacional, no siempre se puede cumplir con esto, pero al menos debe ser “asintóticamente insesgado”, esto es si al aumentar el tamaño de la muestra  $E(\hat{\theta})$  tiende a  $\theta$ .
- Debe ser eficiente, el estimador  $\hat{\theta}$  es eficiente, si su varianza es mínima.
- Debe ser consistente; un estimador  $\hat{\theta}$  es consistente, si y sólo si su sesgo y varianza tienden a cero cuando el tamaño de la muestra tiende al infinito.

*Teorema: Los estimadores máximos verosímiles (MV) son consistentes.*

Aunque los estimadores sean derivados con un método de máxima verosimilitud (que garantice eficiencia y consistencia), pueden ser malos estimadores del verdadero parámetro poblacional si la muestra es pequeña. Lo usual es definir un intervalo de confianza para el estimador con un cierto nivel de probabilidad.

A medida que aumenta el tamaño de la muestra, la distribución de la media se hace más concentrada alrededor de  $\mu$ , y el intervalo de confianza se hace más pequeño y preciso.

## 2.6. ASPECTOS GENERALES DE FERROCARRILES

### 2.6.1. Definición de Ferrocarriles

El Ferrocarril es un sistema de transporte terrestre masivo. Los trenes se movilizan por su propia energía (tracción diésel) o por energía transmitida (tracción eléctrica) utilizando ruedas de acero en una vía, también de acero, definida por dos rieles paralelos.

Los ferrocarriles transportan personas y mercancías. Su capacidad puede extenderse para cubrir cualquier distancia en cualquier ambiente (urbano, suburbano, periurbano, regional e interurbano). Su distancia de viaje para el transporte de pasajeros es usualmente convenida para aproximadamente 1500 km, mientras para mercancías las distancias pueden ser mucho más largas (Pyrgidis, 2016).

Desde un punto de vista de sistema de transporte, por defecto se considera que comprende tres partes.

#### a) Infraestructura Ferroviaria

Este término describe la vía ferroviaria y todas las estructuras de ingeniería civil, sistemas y locales que aseguran el tráfico ferroviario. En la Figura N°2.7 se puede ver los componentes que tiene cada una de las tres partes de una infraestructura ferroviaria.

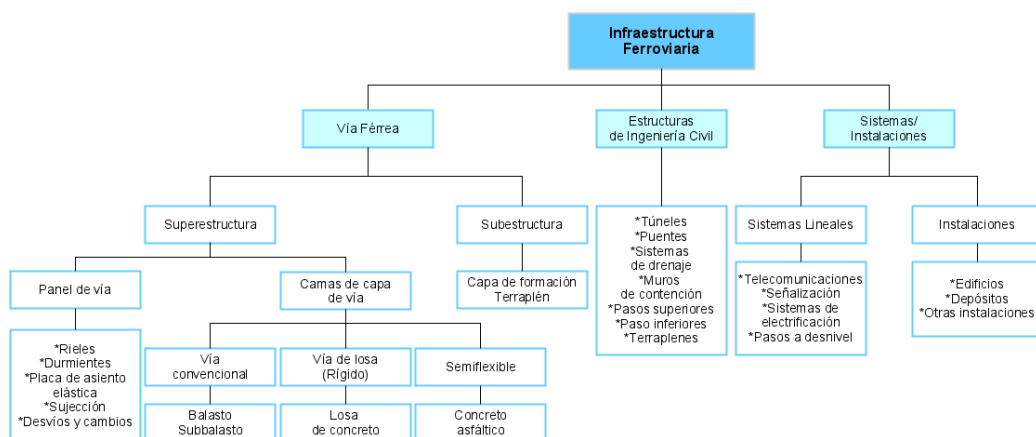


Figura N°2.7. Componentes de una infraestructura ferroviaria.

Fuente: Railway Transportation System (Pyrgidis, 2016). Elaboración propia.

Dentro de la configuración que realiza Pyrgidis (2016), los elementos que conforman la superestructura son: rieles, durmientes, sujeciones, placas de asiento elásticas, balasto y sub-balasto, mientras que la subestructura de la vía está conformada por las capas de forma y terraplén. Ver Figura N°2.8.

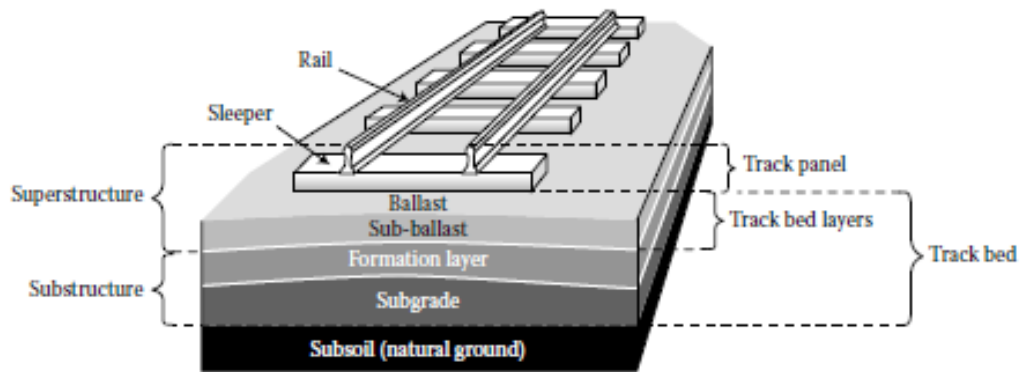


Figura N°2.8. Vía ferroviaria.

Fuente: Railway Transportation System (Pyrgidis, 2016). Elaboración propia.

Ruano (2007), dentro de la clasificación que muestra en su tesina, también define a la capa de forma dentro de la subestructura, o infraestructura, y al conjunto del balasto y subbase (subbalasto, capa de fundación, capa anticontaminante, filtro anticontaminante) llama capa de asiento que es un concepto que se introdujo con la construcción de la líneas de alta velocidad.

## b) Material Rodante

Material rodante es el término empleado para describir todos los vehículos ferroviarios que se desplazan en la vía, motorizados y de arrastre, utilizados cualquiera como vehículos de energía, remolque o ingeniería.

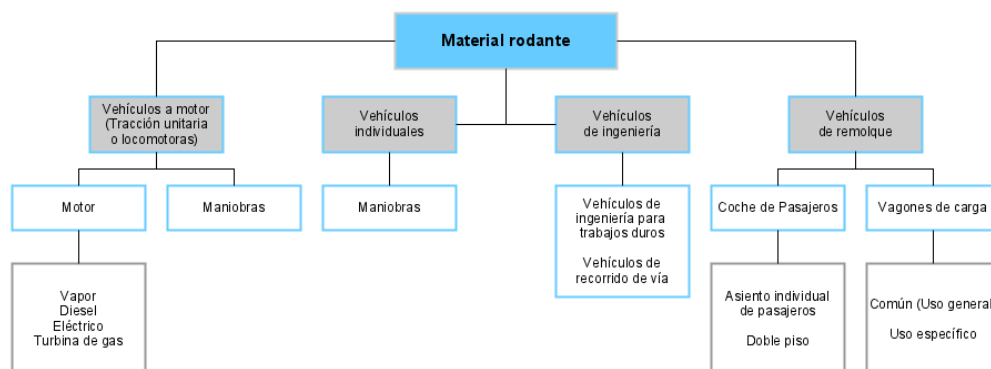


Figura N°2.9. Clasificación del material rodante.

Fuente: Railway Transportation System (Pyrgidis, 2016). Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura N°2.9, los vehículos motorizados (locomotoras o tracción unitaria) son autopropulsados, esto quiere decir que son equipados con motores de tracción. Dependiendo de su potencia de tracción utilizada, las locomotoras se pueden clasificar en cuatro categorías: locomotoras de vapor, locomotoras diésel, turbinas de gas y locomotoras eléctricas. Y también se encuentran aquellos que solo sirven para maniobras.

Los vagones individuales (poseen una cabina de manejo en uno o ambos extremos) se separan en vagones eléctricos, diésel y de turbina de gas; exclusivamente sirve para el transporte de pasajeros (Pyrgidis, 2016).

Los vehículos de remolque no son autopropulsados, sirven para transportar personas o mercancías. Estos vehículos se pueden clasificar en dos categorías básicas según su función:

- Vehículos de pasajeros (coches) destinados a transportar pasajeros.
- Vehículos de carga (vagones) destinados a transportar mercancías (vagones de carga de uso común o general), y también vagones de carga de uso específico, destinados solamente al transporte de ciertos tipos de carga.

También se incluyen entre el material rodante los vehículos de ingeniería utilizados para llevar a cabo trabajos de instalación de paneles de vía, trabajos de inspección y mantenimiento de vía. Se dividen en dos categorías principales:

- Vehículos de ingeniería para trabajos duro en vía.
- Seguimiento de vehículos de grabación

#### c) Operación Ferroviaria

Esta parte describe todas las actividades mediante las cuales una compañía ferroviaria asegura el servicio de ingresos. La operación ferroviaria puede ser desglosada en una operación técnica y otra comercial.

#### 2.6.2. Clasificación de Sistema Ferroviarios

La clasificación de sistemas ferroviarios puede ser de diversas formas. Pyrgidis (2016) categoriza el término velocidad en ingeniería ferroviaria y explica una

clasificación basada en la funcionalidad, calibre de la vía y el tráfico. A continuación, se describe la categorización de acuerdo a la velocidad y la clasificación respecto a la funcionalidad.

#### 2.6.2.1. Velocidad en Ingeniería Ferroviaria

Según Pyrgidis (2016), el término velocidad en un contexto ferroviario puede ser definido en varias formas, dependiendo del contexto operacional y/o técnico a ser considerado. Las siguientes definiciones son comúnmente utilizadas:

- *Velocidad de diseño de vía ( $V_d$ )*, la cual es definida como la velocidad del alineamiento de la vía y correspondiente a la infraestructura ferroviaria como un todo. Por lo tanto, se considera como la velocidad máxima que un tren puede segura y cómodamente operar en una determinada vía.
- *Velocidad permisible de vía ( $V_{maxtr}$ )*, que se define como la máxima velocidad que puede ser desarrollada dentro de una sección de vía ferroviaria en el tiempo que es comisionado un material rodante dado.

Esta velocidad es determinada por el Administrador de la Infraestructura de una red ferroviaria tomando en consideración la calidad del viaje de la vía tanto como otros aspectos del rendimiento.

- *Velocidad máxima de marcha ( $V_{max}$ )*, se define como la velocidad máxima desarrollada por un tipo de tren particular en una línea dada, mientras realiza una ruta programada. Esta velocidad puede referirse a un pequeño segmento de la línea, o puede desarrollarse en la mayor parte de la ruta.
- *Velocidad de operación ( $V_{op}$ )*, que se define como la velocidad que es desarrollada en la mayor parte de la ruta (por ejemplo, en los 2/3 de la longitud de ruta).
- *Velocidad de paso ( $V_p$ )*, que se define como la velocidad constante con la que un tren pasa de un segmento característico particular de la línea que es de poca longitud (por ejemplo, que pasa por un túnel, pasa por estaciones, etc.)
- *Velocidad instantánea ( $V_t$ )*, que se define como la velocidad con la cual un tren pasa por un punto específico de la vía en un tiempo específico.

- *Velocidad comercial ( $V_c$ )*, que es definido como la relación entre la longitud de una ruta ferroviaria (generalmente entre las dos terminales o entre dos estaciones intermedias importantes) y el tiempo que lleva cubrirla, incluidos los tiempos de parada en todas las estaciones intermedias y los retrasos.
- *Velocidad promedio de marcha ( $V_{ar}$ )*, que se define como el cociente de la longitud de un segmento de línea (usualmente entre dos estaciones sucesivas), al tiempo tomado para pasar este segmento, considerando las condiciones de tráfico normales (por ejemplo, sin retrasos imprevistos).
- *Velocidad de diseño de material rodante ( $V_{rs}$ )*, que se define como la máxima velocidad que, de acuerdo con el fabricante, puede ser desarrollada por un tipo particular de locomotora, o con que un vehículo de remolque puede moverse, o finalmente, la máxima velocidad que puede ser desarrollado por una unidad múltiple de formación dada considerando el sistema de tracción, el peso del transportado, el diseño de geométrico vial y considerando que la vía sea de muy buena calidad.

Se debería notar que es deseable que la velocidad de diseño de la vía ( $V_d$ ) sea la misma en todas las secciones del corredor ferroviario. Se aplica generalmente la siguiente expresión matemática:

$$V_{ar} \leq V_{maxtr} \leq V_d \quad (2.13)$$

Respecto a la velocidad, la calidad de la infraestructura ferroviaria es asegurada cuando:

- $V_{maxtr}$  en segmentos de vía particulares coincide con  $V_d$  que, sin embargo, corresponde a un sistema de tracción particular.
- La  $V_{ar}$  es casi igual a  $V_{maxtr}$  (en caso de que esto se refiera a un segmento entre dos estaciones sucesivas debido a la aceleración y desaceleración del tren durante el arranque y la parada, estos dos valores de velocidad no coinciden, y en esta ocasión el valor de  $V_{maxtr}$  es mayor).

Con respecto a la combinación de la vía y el material rodante, la velocidad  $V_{rs}$  debe ser ligeramente mayor que  $V_d$  o al menos igual a  $V_d$ .

Finalmente, con respecto al nivel de servicio, específicamente, a los tiempos de recorrido, la velocidad  $V_{max}$  debe ser lograda durante la parte más larga de la ruta.

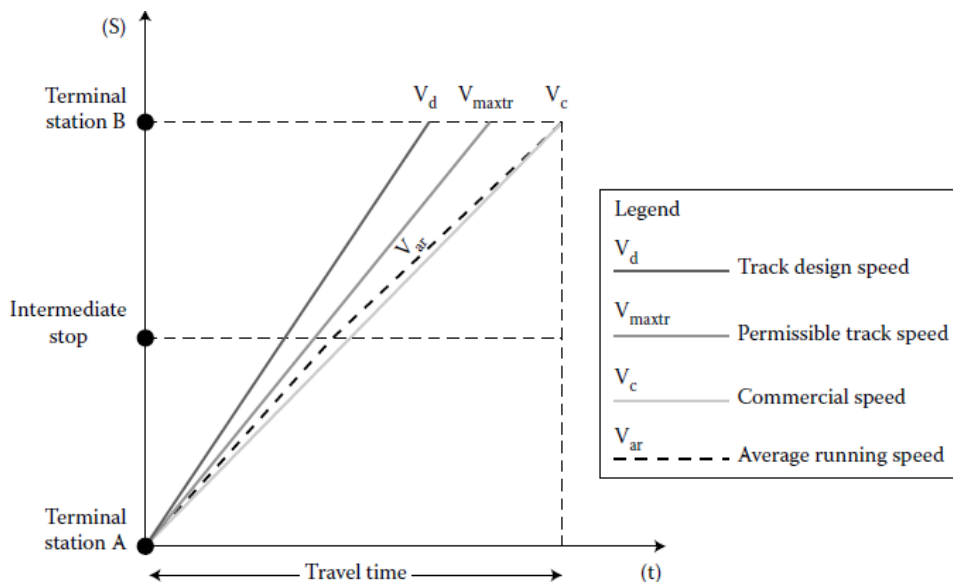


Figura N°2.10. Velocidades en Ingeniería Ferroviaria.  
Fuente: Railway Transportation System (Pyrgidis, 2016).

La Figura N°2.10 muestra la representación gráfica de las velocidades  $V_d$ ,  $V_{maxtr}$ ,  $V_{ar}$ ,  $V_c$ , para una ruta AB con una parada intermedia, considerando que las velocidades  $V_d$ ,  $V_{maxtr}$  son las mismas para toda la longitud de la ruta S.

#### 2.6.2.2. Clasificación de sistemas ferroviarios según su funcionalidad

De manera general, los sistemas ferroviarios caen bajo la categoría de transporte terrestre desplazándose a lo largo de un determinado corredor.

Los sistemas de transporte ferroviario pueden incluir todos los medios de transporte cuyos sistemas de rodadura involucran al menos componentes de acero.

Según Pyrgidis (2016), sobre la base del entorno geográfico urbano en la cual este transporte opera, y generalmente en su funcionalidad, se clasifican en: sistemas interurbanos, sistemas suburbanos o sistemas regionales, sistemas urbanos y sistemas ferroviarios a paso de gradiente

Los sistemas interurbanos sirven para viajes mayores a 150 km y comúnmente uno principales centros poblados, esto comprende trenes de alta velocidad con  $V_{max} \geq 200$  km/h y  $V_c \geq 150$  km/h; y también trenes con velocidad convencional donde  $V_{max} \leq 200$  km/h y la  $V_c < 150$  km/h.

Los sistemas suburbanos son un medio de transporte ferroviario que utiliza líneas de electrificación para su recorrido, también es conocido como sistema de tren de cercanías ya que las distancias de recorrido están entre los 100 km y 150 km. Este rango puede variar.

Los sistemas urbanos recorren distancias entre 30km y 50 km, y cuando cubren distancias de recorrido más largos pueden entrar en la clasificación de sistema regional. En esta clasificación están los metros, metros ligeros, tranvías, monorrieles, monorrieles invertidos, etc.

Los sistemas ferroviarios a paso de gradiente sirven para conectar centros poblados que tienen pequeñas distancias con una importante diferencia de altitud.

Las otras clasificaciones que se asignan a los sistemas ferroviarios están basadas en el calibre de la vía y en el tráfico.

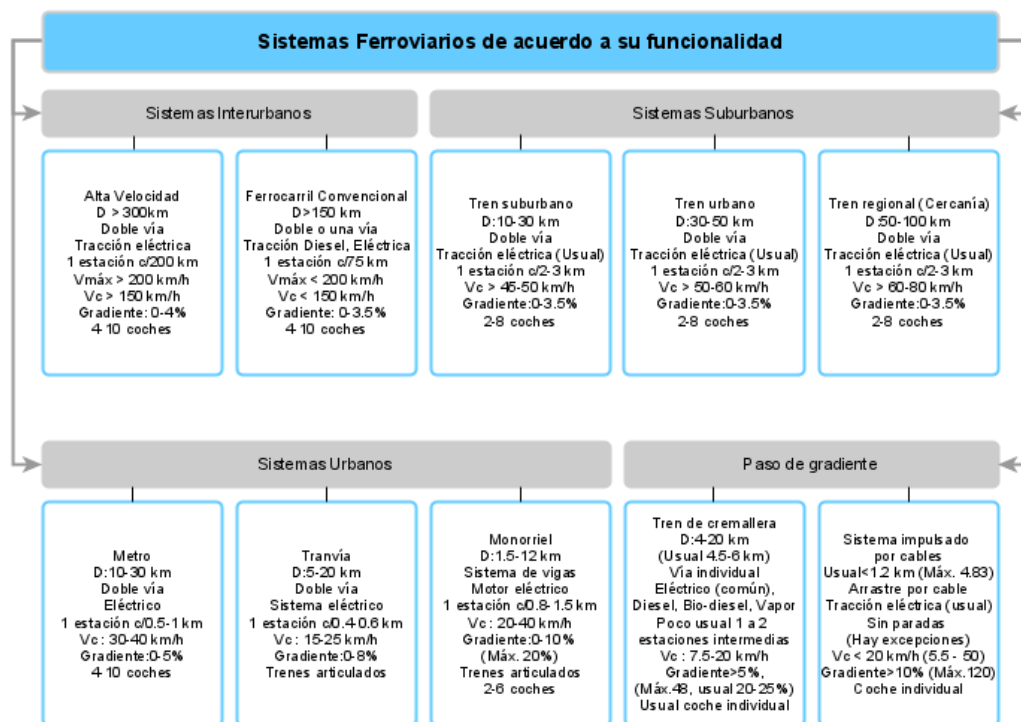


Figura N°2.11. Clasificación de sistemas ferroviarios según su funcionalidad.  
Fuente: Railway Transportation System (Pyrgidis, 2016). Elaboración propia.

En la Figura N°2.11 se muestra un esquema con las características y parámetros utilizados en los sistemas ferroviarios de acuerdo a la clasificación de funcionalidad.

Para efectos del trazo conceptual de este estudio se utilizará la clasificación de sistemas ferroviarios de acuerdo a su funcionalidad (Pyrgidis, 2016), para así definir los parámetros de diseño.

#### 2.6.3. Diseño geométrico de ferrocarriles.

Existen elementos que condicionan la geometría de la vía, según el libro Tratado de Ferrocarriles I (Oliveros Rives, 1977), los clasifica en relación con el trazado y en relación con la circulación de los vehículos.

Con relación al trazado se considerará las alineaciones en planta y en alzado; por supuesto en ambas se tendrá rectas y curvas.

En relación a la circulación de vehículos, se clasifica en dos grupos. El primero determinado por los parámetros que influyen en la construcción, y el segundo determinado por los parámetros que caracterizan a la vía como material rodante.

En el Anexo C, se expone con un poco más de detalle los diferentes elementos que influyen en la geometría vial de acuerdo a lo mencionado en los párrafos anteriores.

#### 2.6.4. Normas Nacionales e internacionales

Se tienen varias normativas para el diseño de ferrocarriles, pero para este trabajo se toma como guía:

- El Reglamento Nacional de Ferrocarriles
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)
- American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association – Manual for Railway Engineering (AREMA)

Cabe indicar que el RNF no se encuentra actualizado con las diferentes tecnologías e investigaciones que se realizan a nivel internacional.

Dentro del Anexo C, se encuentran una breve descripción de estas normas y algunos conceptos importantes para el diseño geométrico.

### 2.6.5. Software para el diseño de ferrocarriles: Istram

Para diseñar un proyecto de ingeniería conceptual, básica o de detalle relacionado a la infraestructura del transporte se requiere de un software adecuado, más aún, si la longitud del proyecto a desarrollar es considerable e importante. Para la ingeniería se tiene utilizar un software que pueda cumplir con las exigencias del cálculo. También, es importante mencionar que el hardware a utilizar debe ser capaz de realizar los cálculos.

#### 2.6.5.1. Istram

Istram es una plataforma para desarrollar proyectos completos de infraestructura lineal, entre ellos proyectos de carreteras, ferrocarriles, saneamiento, gaseoductos, tanto en diseño, construcción y supervisión.

Gestiona una gran cantidad de cartografía y modelos de terreno de una manera sencilla; define la geometría en planta con alineaciones fáciles de utilizar, genera en tiempo real secciones transversales que son útiles en cada momento del diseño, también se puede obtener, como es propio de una obra lineal, perfiles longitudinales, además, se puede alcanzar el modelo tridimensional completo del proyecto.

Contiene librerías que incorporan normativas de diferentes países, y que se actualizan periódicamente; inclusive se puede comprobar si los parámetros de diseño y propiedades cumplen con la normativa seleccionada.

La velocidad de cálculo es rápida debido a sus potentes algoritmos y así se puede controlar el diseño no teniendo restricciones, esto permite tratar proyectos de gran envergadura.

Todos los resultados de los cálculos son automatizables y se puede configurar de acuerdo a las necesidades y/o estilos que el diseño requiera.

ISTRAM tiene un módulo donde incluye una presentación en 3D del proyecto a diseñar para tener una mejor ubicación en el espacio y así poder transmitir mejor la información del proyecto.

También, se puede generar reportes de los diferentes elementos de la vía diseñada, además, generar planos de acuerdo a los modos de dibujo que contiene.

#### 2.6.6. Túneles ferroviarios

Los túneles surgen en los trazos ferroviarios para darle solución al problema como la presencia de obstáculos de diferente naturaleza.

La función de un túnel de ferrocarril consiste en proporcionar un camino para el paso de las circulaciones ferroviarias a través del terreno, a pesar de que los túneles normalmente sólo se construyen en casos extremos, cuando la profundidad de una trinchera es excesiva, también las limitaciones en curva y perfil longitudinal prevalecen con cierta frecuencia. También es necesario cuando un ferrocarril requiere cruzar otra línea de transporte, donde las características de la superficie no pueden ser alteradas, y en el caso de ferrocarriles subterráneos en principales ciudades (Oliveros Rives, Tratado de Ferrocarriles I, 1977).

Para determinar las características de un túnel, con respecto a la sección libre, se debe tener en cuenta criterios de salud y de confort de los usuarios.

Una vez que se fija la sección libre, se debe diseñar la sección geométrica. A los condicionantes de hidrogeológicos, y trazado, se añade el gálibo ferroviario, también se debe tener en cuenta la parte técnico-económica de utilizar la menor cantidad de secciones distintas.

##### 2.6.6.1. Túneles helicoidales

Los túneles helicoidales, también llamados de espiral, son aquellos que permiten ganar altura en un espacio reducido cuando el trazo de una vía férrea sigue un valle estrecho y la pendiente es pronunciada.

Una de las primeras aplicaciones se dio en San Gotardo, Suiza (Regau, 1965). En estos tipos de túneles se debe tener en cuenta la limitación de la pendiente, la resistencia ofrecida por el aire en la circulación, etc.

En algunas ocasiones se elige una trinchera en vez de un túnel, esto va a depender de factores como taludes de corte, superficie de trinchera, costos por kilómetro, etc. (Oliveros Rives, 1980).

En la Figura N°2.12 se muestra un trazo esquemático de la vía férrea y los túneles helicoidales en San Gotardo, Suiza. El túnel en mención tiene una longitud de 57 km., inaugurado en el 2016.

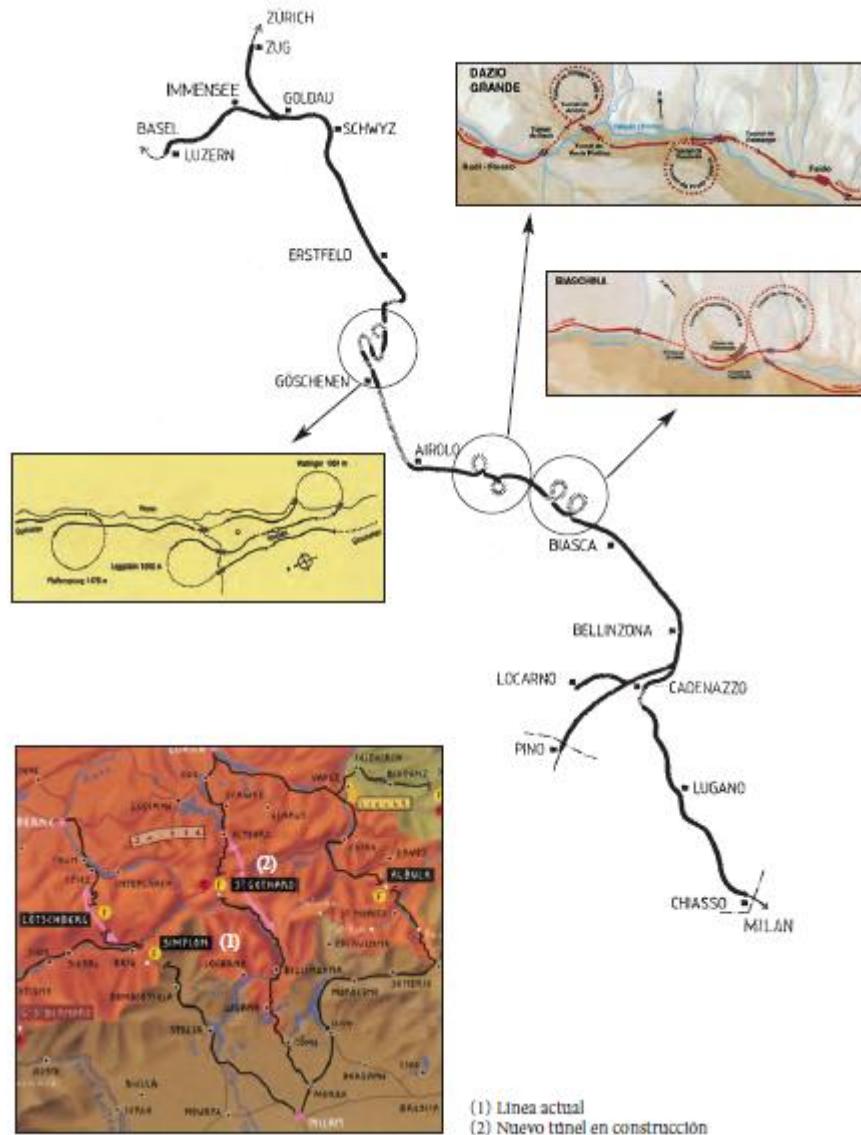


Figura N°2.12. Trazado esquemático de los túneles de San Gotardo.  
Fuente: Infraestructuras ferroviarias (López Pita, 2010)

En la vía férrea del Ferrocarril Central Andino, el túnel Balta es de desarrollo helicoidal, con 1500 metros de longitud y pendientes de 2.5% y 3.5% licitado y construido en 1984 (Cassabone, 2017). Ver Anexo D.

#### 2.6.6.2. Secciones transversales

Existen diferentes tipos de secciones, sin embargo, uno de los aspectos importantes es la determinación de la sección transversal del túnel por motivo de su repercusión en el coste final. También se debe tener en cuenta que tipos de vehículos circularan por los túneles. En la normativa de ADIF se tiene algunas secciones de túneles. Ver Anexo E.

## **CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL PROYECTO**

En este capítulo se presenta datos que corresponden a información recopilada del MTC e INEI actualizadas hasta el año 2022.

### **3.1. CONTEXTO ACTUAL**

En la actualidad el crecimiento en el transporte de mercancías del Ferrocarril Central demanda que el servicio del ferrocarril tenga mayor oferta, y a la vez pueda cubrir parte del transporte carretero debido a que este mueve 10 millones ton/año, mientras que el ferrocarril aproximadamente 3 millones de ton/año. El ferrocarril mueve la tercera parte de lo que se transporta por carretera (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Si se tiene en cuenta a la vialidad como un conjunto de servicios de transporte que permiten el movimiento de mercancías y personas entre dos lugares, siendo dentro de este sistema un componente esencial para el impulso de actividades sociales y económicas que son indispensables para el funcionamiento del país, entonces es necesario para garantizar el crecimiento económico del país que se pretenda mejorar el sistema de transporte, que garantice una eficiente operatividad e incremente la movilidad y la accesibilidad.

En la actualidad, el alto tráfico casi permanente en la Carretera Central (PE-22) ocasionado en su mayoría por camiones de carga, responsables del transporte de mercancías, presenta entre sus principales problemas: pérdidas de tiempo en transporte de carga y pasajeros, debido a la disminución de velocidades, incremento en los costos de mantenimiento y operacionales, incidentes y accidentes de tránsito, interrupciones de tránsito por huaycos y bloqueos de la carretera por derrumbes. Un tramo bastante crítico está entre Chosica y La Oroya, debido a los problemas mencionados y además las condiciones de la Carretera Central no presentan una geometría adecuada.

La problemática de la Carretera Central es compleja, y en las intenciones de querer descongestionarla se han planteado diferentes alternativas de solución, entre ellas utilizar vías alternas (carreteras), que a la fecha no han dado resultados esperados.

Al igual que la ruta PE-22, el trazo del Ferrocarril Central presenta una geometría inadecuada, y una de las variables participantes del limitado trazo es la topografía, por ser zona montañosa.

El ferrocarril no ha cambiado mucho en cuanto a parámetros de diseño, tampoco ha sufrido grandes cambios en el trazo, sin embargo, la Carretera Central, la cual ha cambiado de categoría según su demanda, ha ocasionado que se rehabilite la vía, se incremente el ancho de calzada, etc. Según Casapia (2015), “La sección transversal de esta vía corresponde a una carretera de Primera Clase, pero por el tráfico debería ser una autopista de Segunda Clase con separador central de contención mínimo de 1 m, y con calzadas de dos o más carriles de 3,60 m de ancho mínimo, para flujos vehiculares continuos. Motivo suficiente para considerar esta carretera como de alta congestión”.

Para tener una idea de la situación actual, se muestra en la Figura N°3.1 un esquema con algunas de las causa y efectos del problema que involucra a la Carretera Central y al Ferrocarril.

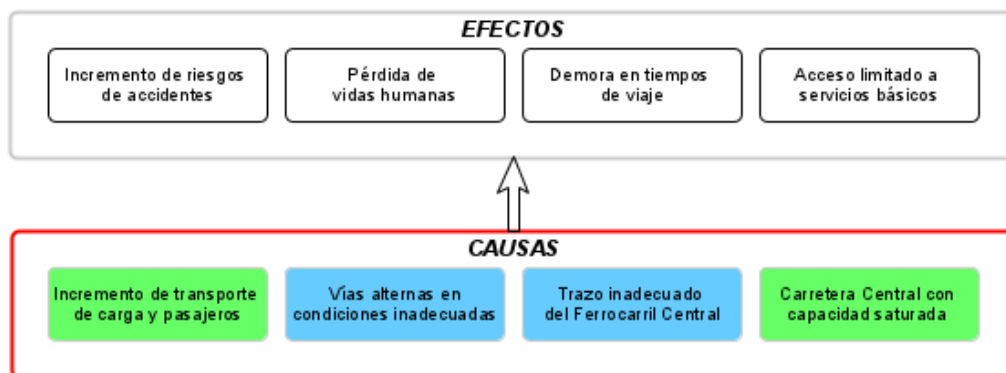


Figura N°3.1. Causas y efectos de problemas de Transporte en Zona Central.

Fuente: FCCA. Elaboración propia.

## 3.2. DEMANDA

### 3.2.1. Demanda de carga del FCCA

La región central del Perú es un importante centro minero a nivel nacional, es así que el principal servicio del Ferrocarril Central es el transporte de material minero (insumos y minerales) entre Lima, La Oroya y Pasco.

Las rutas Callao – La Oroya, Callao – Pasco, La Oroya – Callao y Pasco – Callao son las utilizadas para el transporte de minerales e insumos, mientras que la ruta Lima – Huancayo es de servicio turístico de pasajeros.

Se muestra en el siguiente gráfico el volumen de carga transportado por el ferrocarril en los últimos 23 años.

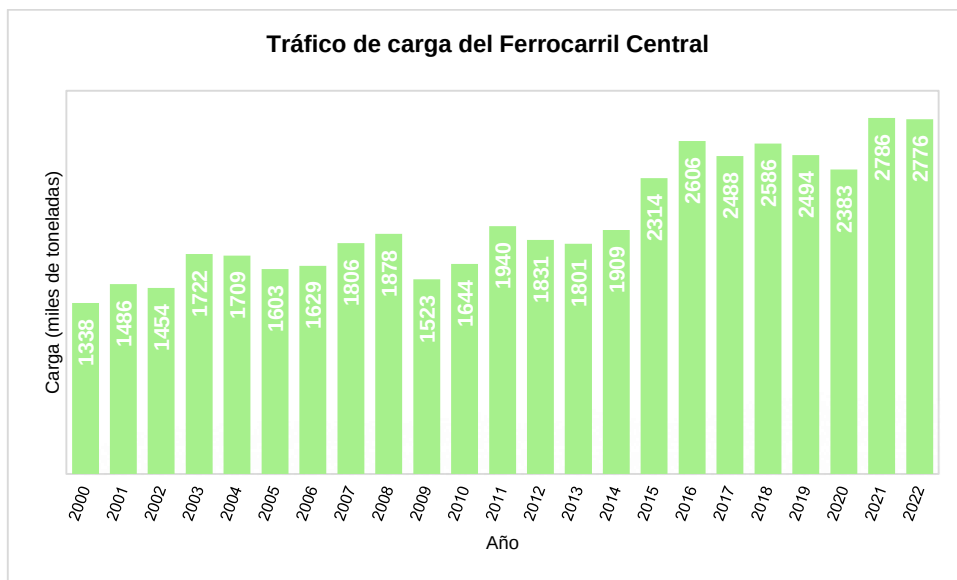


Figura N°3.2. Evolución del tráfico de carga.

Fuente: OSITRAN (Informe de desempeño 2022 - Concesión del Ferrocarril del Centro, 2022)  
Elaboración propia.

El gráfico anterior, Figura N°3.2. Evolución del tráfico de carga., contiene el volumen transportado en un año, y se observa que en los últimos 4 años la demanda ha superado los 2 millones de toneladas por año. Las cantidades son similares al informe presentado por el MTC. A partir del 2015, ha superado los 2.3 millones toneladas anuales por el inicio del proyecto Toromocho.

En la Tabla N°3.1, se puede apreciar el tráfico ferroviario de carga hasta el año 2022, solo se dispone información en el portal del MTC hasta el año en mención.

El Ferrocarril Central ocupa el segundo lugar en toneladas transportadas con respecto a los otros ferrocarriles con servicio de carga en el Perú. En la Figura N°3.3, se puede observar que el tráfico de carga la tendencia es creciente. Los últimos años se ha duplicado la explotación y el transporte. Este volumen métrico incrementará con las ampliaciones de Toromocho, y las actividades de otras mineras que se encuentran en fase de exploración.

Tabla N°3.1  
Tráfico Ferroviario de carga

| AÑO  | Southern Peru Copper Corporation | Ferrocarril Central Andino S.A. | PeruRail S.A. | Ferrocarril Huancayo - Huancavelica | Ferrocarril Tacna - Arica | TOTAL      |
|------|----------------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------------|---------------------------|------------|
| 2013 | 4,725,316                        | 1,775,790                       | 1,163,950     | 2,418                               | 0                         | 7,667,474  |
| 2014 | 4,670,868                        | 1,898,560                       | 956,460       | 1,490                               | 0                         | 7,527,378  |
| 2015 | 4,727,628                        | 2,326,980                       | 1,145,580     | 3,338                               | 0                         | 8,203,526  |
| 2016 | 4,691,381                        | 2,639,840                       | 2,961,040     | 2,319                               | 0                         | 10,294,580 |
| 2017 | 4,744,743                        | 2,485,935                       | 3,263,537     | 2,766                               | 0                         | 10,496,981 |
| 2018 | 5,009,005                        | 2,586,405                       | 3,161,733     | 2,202                               | 0                         | 10,759,345 |
| 2019 | 5,707,683                        | 2,494,002                       | 2,779,483     | 15                                  | 0                         | 10,981,183 |
| 2020 | 5,932,524                        | 2,382,953                       | 2,657,547     | 38                                  | 0                         | 10,973,062 |
| 2021 | 5,597,754                        | 2,786,577                       | 2,835,808     | 50                                  | 0                         | 11,220,189 |
| 2022 | 5,534,182                        | 2,775,916                       | 2,635,407     | 0                                   | 0                         | 10,945,505 |

Fuente: Tráfico ferroviario de carga, según operador: 2013-2022 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022). Unidad: Toneladas métricas. Elaboración propia.

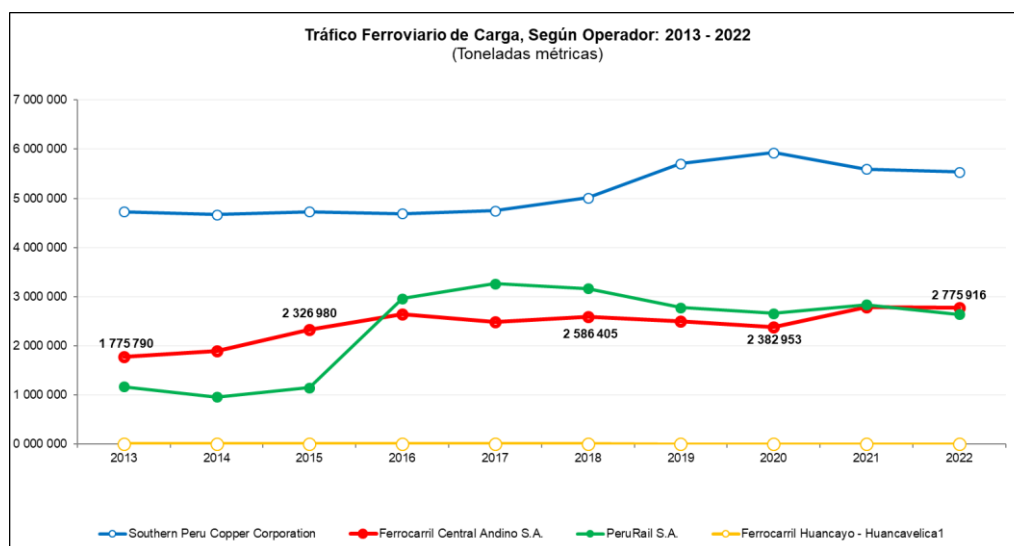


Figura N°3.3. Tráfico ferroviario de carga.

Fuente: Tráfico de carga, según operador: 2004- 2022 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022). Elaboración propia.

En la Tabla N°3.2, se muestra el detalle de los productos movilizados. En los últimos tres años el volumen de carga transportada no ha sido muy variable. El producto que ha presentado una importante reducción es el concentrado de zinc. El principal producto transportado por el FCCA es el concentrado de cobre, explotado en el proyecto minero Toromocho.

Tabla N°3.2

Principales productos transportados por el FCCA (Periodo 2006 – 2022)

| Carga                               | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Concentrado de cobre                | 75   | 127  | 80   | 92   | 433  | 921  | 1088 | 1185 | 1167 | 969  | 899  | 1301 | 1242 |
| Ácido sulfúrico industrial          | 333  | 473  | 459  | 593  | 525  | 490  | 550  | 504  | 503  | 540  | 423  | 516  | 487  |
| Otros                               | 203  | 278  | 302  | 184  | 80   | 145  | 148  | 135  | 221  | 252  | 195  | 272  | 253  |
| Zinc en barras y planchas (metales) | 150  | 249  | 272  | 272  | 256  | 260  | 279  | 251  | 304  | 299  | 219  | 271  | 255  |
| Concentrado de zinc                 | 626  | 585  | 546  | 473  | 475  | 392  | 472  | 357  | 361  | 392  | 334  | 386  | 464  |
| Concentrado de plomo                | 110  | 73   | 79   | 83   | 55   | 39   | 28   | 30   | 28   | 43   | 57   | 40   | 75   |
| Cemento en bolsas                   | 147  | 156  | 92   | 104  | 85   | 66   | 41   | 25   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Total (miles de toneladas)          | 1644 | 1941 | 1830 | 1801 | 1909 | 2313 | 2606 | 2487 | 2585 | 2495 | 2127 | 2786 | 2776 |

Fuente: Informe de desempeño 2022 – Concesión del Ferrocarril de Centro (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022) Elaboración propia.

Para una mejor evaluación del transporte de cargas se utiliza la unidad de tráfico de carga o mercancías. El indicador es **toneladas – kilómetro**. A continuación, se muestra de acuerdo al indicador la mercancía transportada (Ver Figura N°3.4):

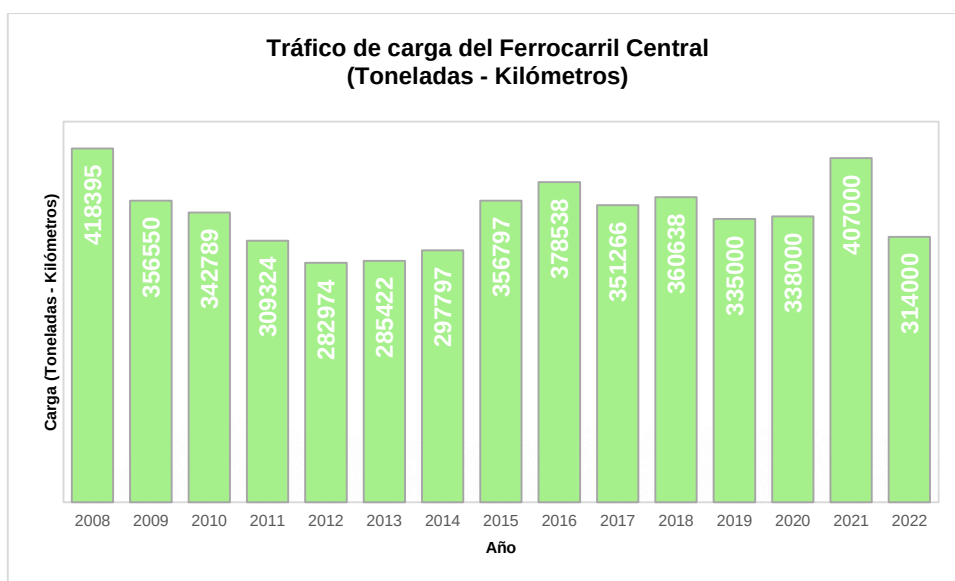


Figura N°3.4. Evolución del tráfico de carga.

Fuente: Informe de desempeño 2022 – Concesión del Ferrocarril de Centro (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022) Elaboración propia.

En el 2022 la carga transportada fue de 314 millones de toneladas – kilómetro. En el 2008 se transportó mayor cantidad de toneladas-kilómetros por el Ferrocarril Central, luego fue disminuyendo hasta el 2012 donde hubo una inflexión y nuevamente comenzó a subir las cantidades transportadas hasta el 2016, luego

ha habido pequeña disminución en el 2017 debido a las interrupciones ocasionadas por el fenómeno de “El Niño Costero”.

Tabla N°3.3

*Principales productos transportados por el FCCA*

| Carga                | 2010           | 2011           | 2012           | 2013           | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | 2019           | 2020           | 2021           | 2022           |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Concentrado de cobre | 24,606         | 43,136         | 26,471         | 31,022         | 90,172         | 177,992        | 203,299        | 216,813        | 215,522        | 176,000        | 166,000        | 242,000        | 224,000        |
| Concentrado de zinc  | 193,796        | 166,301        | 152,880        | 131,858        | 124,121        | 99,197         | 101,882        | 68,138         | 71,099         | 76,000         | 66,000         | 90,000         | 99,000         |
| Concentrado de plomo | 36,930         | 22,690         | 25,163         | 24,552         | 16,581         | 13,020         | 9,571          | 10,177         | 9,044          | 12,000         | 18,000         | 13,000         | 23,000         |
| Ácido sulfúrico      | 11,165         | 15,890         | 15,413         | 40,474         | 24,541         | 16,562         | 18,373         | 17,035         | 16,883         | 19,000         | 15,000         | 18,000         | 17,000         |
| Cal viva             | -              | -              | -              | -              | 5,864          | 22,803         | 23,886         | 21,902         | 23,108         | 18,000         | 13,000         | 18,000         | 14,000         |
| Cemento en bolsas    | 33,939         | 36,714         | 21,137         | 25,235         | 20,643         | 14,831         | 8,888          | 5,994          | 723            | 0              | 0              | 0              | 0              |
| Carbón               | 16,000         | 0              | 6,000          | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| Otros                | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              | 27,000         | 32,000         |
| <b>Total</b>         | <b>316,436</b> | <b>284,731</b> | <b>247,064</b> | <b>253,141</b> | <b>281,922</b> | <b>344,405</b> | <b>365,899</b> | <b>340,059</b> | <b>336,379</b> | <b>301,000</b> | <b>278,000</b> | <b>408,000</b> | <b>409,000</b> |

Fuente: Informe de desempeño 2022 – Concesión del Ferrocarril de Central (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022). Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, por el FCCA se han transportado principalmente concentrados de minerales (cobre, zinc y plomo), ácido sulfúrico, insumos de la actividad minera, cemento, carbón, entre otros productos. En el 2018, se ha registrado un decrecimiento en el número de toneladas-kilómetro transportadas de concentrado de cobre (-0,6%) y ácido sulfúrico (-0.9%), inversamente, el concentrado de zinc (4,3%) y la cal (5,5%) se han incrementado.

Los datos de carga del MTC se encuentran actualizados hasta el 2017, mientras que el informe de OSITRAN hasta el 2022. Los valores de los años entre el 2004 y 2022 son similares.

De acuerdo al Informe de desempeño de OSITRAN (2022) debido al fenómeno de “El Niño Costero”, ocurrido en el 2017, se muestra una reducción en el tráfico, con respecto al año 2018, debido a los derrumbes ocasionados por el fenómeno mencionado que obstaculizaron las vías del Ferrocarril Central.

### 3.2.2. Demanda de carga de la Carretera Central

Del estudio de tráfico presentado en el Informe Final del “Estudio de Pre Inversión a nivel de perfil del proyecto Construcción del Túnel Trasandino” en el año 2014 se obtuvo el tráfico desviado de carga que sube y baja por la Carretera Central, con los datos recopilados se elabora la siguiente tabla:

Tabla N°3.4  
Tráfico de carga desviada (proyección)

| Recursos              | Carga (Ton)          | Porcentaje de carga | Porcentajes de carga desviada | Carga desviada (Ton) |
|-----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|
| Combustibles y ácidos | 582,031.00           | 4.50%               | 52.81%                        | 307,370.57           |
| Madera                | 599,085.00           | 4.63%               | 49.35%                        | 295,648.45           |
| Mineral metálico      | 679,543.00           | 5.25%               | 70.00%                        | 475,680.10           |
| Mineral no metálico   | 752,454.00           | 5.81%               | 60.00%                        | 451,472.40           |
| Agrícola              | 1,483,211.00         | 11.46%              | 18.33%                        | 271,872.58           |
| Abarrotes             | 1,344,742.00         | 10.39%              | 3.93%                         | 52,848.36            |
| Otros (*)             | 7,505,278.00         | 57.97%              | 2.50%                         | 187,631.95           |
| <b>TOTAL</b>          | <b>12,946,344.00</b> |                     | <b>15.78%</b>                 | <b>2,042,524.41</b>  |

Fuente: Resumen ejecutivo del Proyecto Construcción del Túnel Transandino (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). Elaboración propia.

(\*) Los recursos otros incluyen maquinarias, encomiendas y otros productos considerados no masivos dado que son cargas variables e influenciados por factores externos.

Se observa que la mayor cantidad de carga que se transportó por carretera hasta el año 2013 fue material agrícola, sin embargo, el material minero metálico y no metálico representa una cantidad importante a futuro.

Del Estudio de Tráfico que muestra el informe, se obtiene que el tráfico desviado de carga que actualmente baja y sube por la Carretera Central y que cambiaría de modo de transporte será de aproximadamente 2,042,524 toneladas anuales, y además en el 2023 se incorporaría un tráfico generado de la carga nueva que aportan futuros proyectos mineros en aproximadamente 1,240,069 toneladas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

### 3.2.3. Demanda de pasajeros del FCCA

El principal servicio ofertado de transporte del FCCA es de carga. El servicio de transporte de pasajeros no tiene frecuencia diaria, sino que corresponde a un servicio turístico con salidas programadas, entre una y dos veces por mes y cubre la ruta Lima – Huancayo – Lima.

El siguiente gráfico (Figura N°3.5) muestra la demanda del servicio de pasajeros del Ferrocarril Central Andino entre el 2004 y 2019. En los últimos tres años de servicio no ha superado los 1518 pasajeros por año.

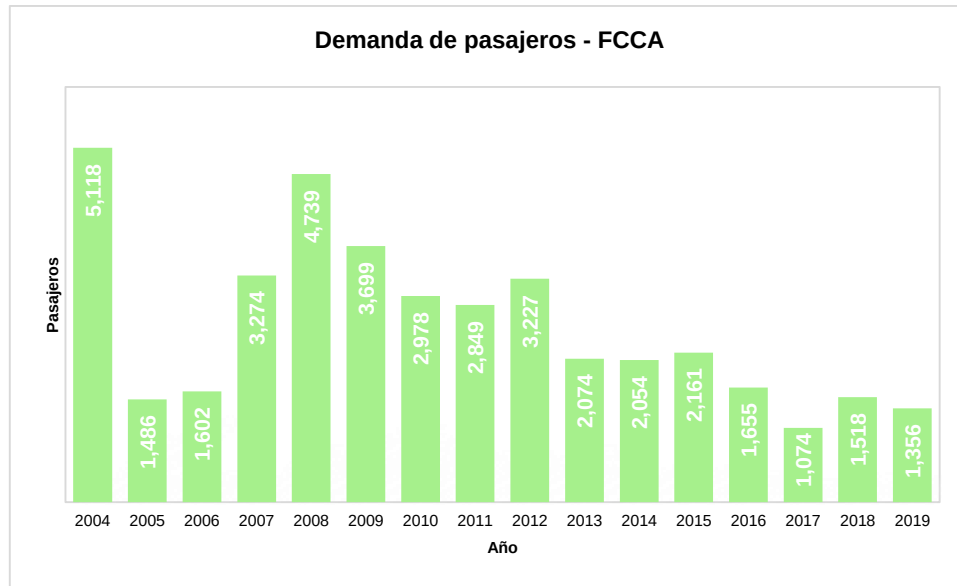


Figura N°3.5. Tráfico ferroviario de pasajeros del FCCA.

Fuente: Tráfico de pasajeros, según operador, 2004- 2019 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022). Elaboración propia.

### 3.2.4. Demanda de pasajeros de la Carretera Central

El incremento en la demanda del servicio de pasajeros en la Carretera Central es debido al crecimiento de la población y económico. En la Figura N°3.6, se muestra la cantidad de pasajeros según lugar de destino que utilizaron transporte interprovincial (modo bus) entre el año 2013 al 2019, en las regiones de Lima, Junín, Huánuco y Pasco. En cantidad de pasajeros ha pasado de 34570000 a 39082600 usuarios, luego hubo una disminución considerable debido a la Pandemia Covid-19. En los dos últimos años se ve el incremento con valores similares a los años anteriores.

Las regiones de destino que forman parte de la zona de influencia de la Carretera Central y Ferrocarril Central Andino son las regiones Lima, Junín, Pasco y Huánuco. En la Tabla N°3.5 se muestra el tráfico de pasajeros según destino de las regiones mencionadas.

Tabla N°3.5

*Tráfico de pasajeros en el Transporte Interprovincial, según departamento de destino: 2013 - 2022*

| DEPARTAMENTO | 2013            | 2014            | 2015            | 2016            | 2017            | 2018            | 2019            | 2020            | 2021            | 2022            |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Huánuco      | 913.3           | 961.8           | 1024.1          | 1024.0          | 1193.5          | 1278.3          | 1314.4          | 479.2           | 675.6           | 1158.7          |
| Junín        | 3 515.5         | 3 607.1         | 3 630.8         | 3 574.4         | 3 544.3         | 3 687.5         | 3 826.3         | 1 383.0         | 2 073.4         | 3 457.4         |
| Lima         | 28 678.8        | 29 695.9        | 30 787.6        | 30 529.7        | 31 808.6        | 31 115.1        | 32 593.4        | 14 407.2        | 17 930.3        | 28 342.9        |
| Pasco        | 1 462.4         | 1 374.6         | 1 478.4         | 1 475.0         | 1 377.3         | 1 259.3         | 1 342.4         | 560.7           | 738.7           | 1 279.5         |
| <b>TOTAL</b> | <b>34 570.5</b> | <b>35 639.4</b> | <b>36 920.9</b> | <b>36 603.1</b> | <b>37 924.3</b> | <b>37 341.4</b> | <b>39 082.6</b> | <b>16 830.2</b> | <b>21 417.9</b> | <b>34 238.5</b> |

Fuente: Datos obtenidos del MTC. Elaboración propia.

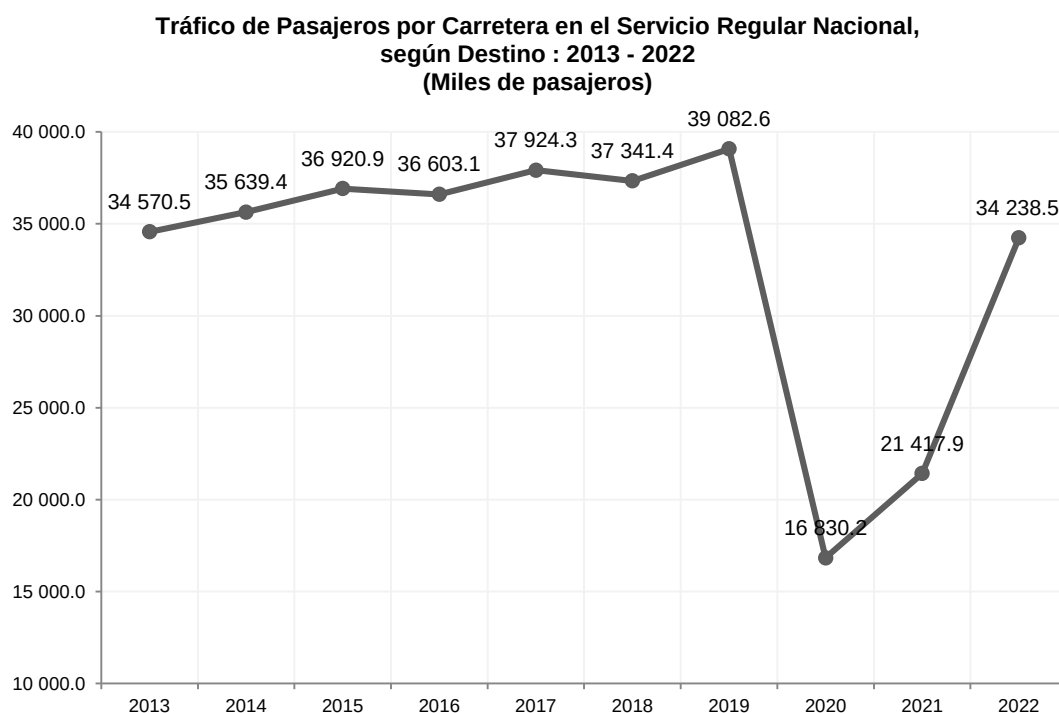


Figura N°3.6. Tráfico de pasajeros en la Carretera Central  
Fuente: Tráfico de pasajeros en el Transporte Interprovincial, según departamento de destino  
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2022). Elaboración propia.

En los últimos años la región Junín está en el sexto lugar con mayor tráfico de pasajeros según destino, y dentro de la región central es el primer destino con mayor afluencia de pasajeros.

La región Junín recibe más de 3.5 millones de pasajeros por año, Huánuco y Pasco atraen más de 1.2 millones de pasajeros por año. Los valores estimados por el MTC se consideran de acuerdo a la oferta y demanda del parque automotor autorizado y operativo.

### 3.2.5. Rutas y usuarios principales del FCCA

El análisis del volumen de carga transportada según las rutas de la Concesión revela que en el 2022 hubo una alta concentración en la ruta Tunshuruco (Junín) - Patio Central (Callao), por la que se movilizó el 38,0% del total de carga de dicho año, la misma que corresponde en su totalidad al traslado de concentrado de cobre extraído desde el Yacimiento de Toromocho. Por su parte, la segunda ruta en importancia ha sido la de Cajamarquilla (Lima) – Guadalupe (Callao) con el

16,9 % de la carga, por la cual se transportó principalmente ácido sulfúrico industrial de Nexa Resources Cajamarquilla S.A.

Entre las dos principales rutas concentraron un poco más del 50% del total de carga movilizada en el 2022 (54,9 %), la tercera parte restante se distribuyó entre diversas rutas a lo largo de la Concesión. (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022, pág. 17). Ver Tabla N°3.6.

Tabla N°3.6

*Principales rutas del transporte de mercancías del FCCA*

| <b>Ruta</b>                   | <b>Toneladas</b> | <b>Participación</b> |
|-------------------------------|------------------|----------------------|
| Tunshuruco - Patio central    | 1057526          | 38.0%                |
| Cajamarquilla - Guadalupe     | 471434           | 16.9%                |
| Cajamarquilla – Patio Central | 249697           | 9.0%                 |
| Patio Central – Caja,arquilla | 135842           | 4.9%                 |
| Cajamarquilla - Tunshuruco    | 99887            | 3.6%                 |
| Unish - Patio Central         | 88932            | 3.2%                 |
| Unish - Cajamarquilla         | 70616            | 2.5%                 |
| Carahuacra – Patio Central    | 67695            | 2.4%                 |
| Carahuacra – Cajamarquilla    | 53377            | 1.9%                 |
| Tunshuruco - Tunshuruco       | 42770            | 1.5%                 |
| Patio Central - Tunshuruco    | 42576            | 1.5%                 |
| Tamboraque – Patio Central    | 38405            | 1.4%                 |
| Desv. PK 115 - Patio Central  | 35952            | 1.3%                 |
| Carahuacra - Galera           | 25480            | 0.9%                 |
| Cerro de Pasco - Galeera      | 24789            | 0.9%                 |
| Cajamarquilla - Cajamarquilla | 20815            | 0.7%                 |
| Tunshuruco – Galera           | 16991            | 0.6%                 |
| Otros                         | 233126           | 8.4%                 |
| <b>Total</b>                  | <b>2776181</b>   | <b>100.0%</b>        |

Fuente: Informe de desempeño 2022 – Concesión del Ferrocarril del Centro (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022).

Elaboración propia.

Los principales usuarios del servicio de transporte de mercancía por las vías del Ferrocarril Central son en su mayoría compañías mineras que poseen sus operaciones en la Sierra Central.

En el 2022, Minera Chinalco Perú S.A. se consolidó como la empresa que transportó más carga por la concesión en términos de toneladas – kilómetro, concentrando más de la mitad de toda la carga movilizada (57%). Otras empresas mineras también se destacaron como principales usuarios del servicio de transporte de carga como Nexa Resources El Porvenir (12.0%), Nexa Resources

Cajamarquilla (10.0%). Los porcentajes de carga movilizada por el FCCA, se muestra en el siguiente gráfico (Figura N°3.7):

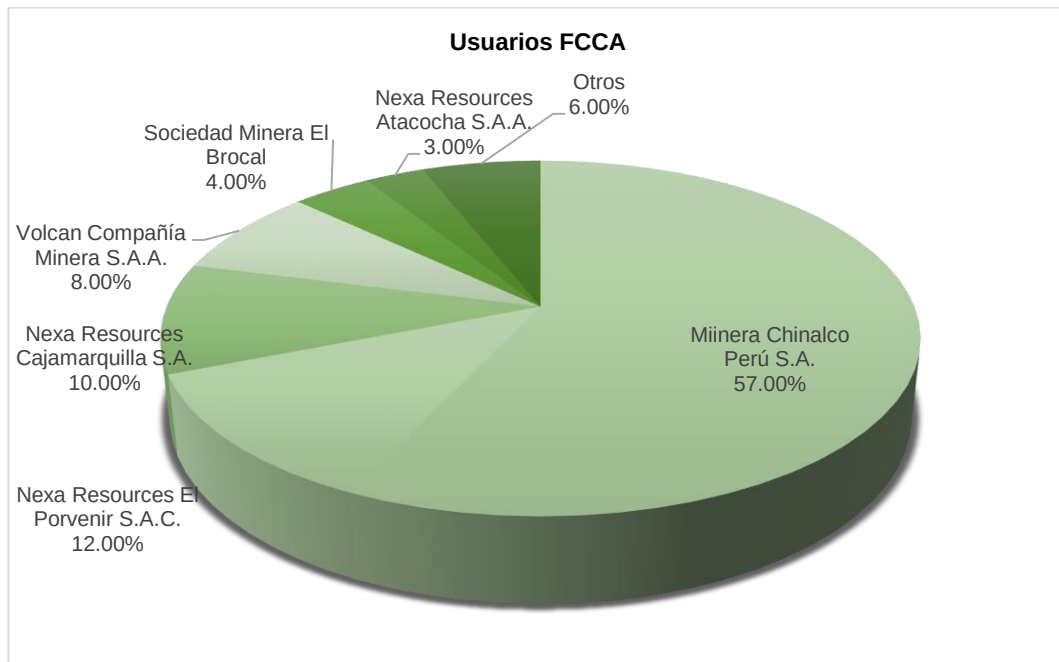


Figura N°3.7. Principales usuarios del transporte de mercancías del FCCA.

Fuente: Informe del desempeño 2022 – Concesión del Ferrocarril del Centro (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022). Elaboración propia

### 3.3. OFERTA

Se refiere básicamente al análisis del sistema de transporte (servicio) y si son suficientes para cubrir la demanda existente, que en este caso significaría desplazar parte del tráfico vehicular de la Carretera Central, que actualmente se encuentra congestionada en algunos de sus tramos, hacia vías de transporte alternativas, de tal manera que normalice el tránsito en la Carretera Central y cubra la demanda hasta un horizonte establecido, permitiendo el libre tránsito para facilitar el transporte de pasajeros, intercambio comercial, así como otras actividades. En la sección 3.3.1 se encuentra la oferta actual y más adelante en la sección 3.4.3 se muestra parte la oferta del Ferrocarril Central Andino.

#### 3.3.1. Situación actual de las carreteras y vía férrea

La oferta de servicios del área de influencia está dada principalmente por la Carretera Central, única vía en condiciones físicas adecuadas pero de limitada capacidad vehicular, y muy escasamente por otras vías, siendo este el caso de la

carretera Lima - Canta - Unish y Lima - Cañete - Huancayo, y la vía férrea que se encuentra actualmente muy cercana a su máxima capacidad a causa de su trazo con altas pendientes y numerosos zig-zags, para atravesar la cordillera de los Andes, características de la superestructura ferroviaria y sus obras de arte, condiciones de transitabilidad en las zonas urbanas, etc., que producen un elevado tiempo de viaje.



Figura N°3.8. Rutas Alternas a la Carretera Central al 24/01/2020.

Fuente: [http://wsgcv.proviasnac.gob.pe/sgcv\\_emergenciavial](http://wsgcv.proviasnac.gob.pe/sgcv_emergenciavial)

Con respecto a la rutas alternas, se puede apreciar en la Figura N°3.8, los trayectos que sigue, además mencionar que cada ruta alterna a la Carretera Central, se encuentra entre 40% y 60% sin asfaltado, actualmente tienen solución básica y se encuentran sin pavimentar. En la Tabla N°3.7 muestra algunas características de la oferta que tienen la Carretera Central y las carreteras alternas

Con respecto a la vía del Ferrocarril Central, se puede afirmar tiene un ancho de trocha internacional o trocha estándar de 1435 mm, tiene 42 estaciones, 59 puentes entre Callao y Huancayo y 2 puentes entre La Oroya y Cerro de Pasco, 74 túneles entre Callao y Huancayo y 1 entre La Oroya y Cerro de Pasco, 6 zigs zags entre Callao y Huancayo y 1 zigs zags entre La Oroya y Cerro de Pasco, 188 pasos a nivel entre Callao y Huancayo y 35 entre La Oroya y Cerro de Pasco.

Además de 619 vagones, 23 coches de pasajeros, 8 locomotoras Diesel y 1 locomotora a vapor (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022).

Tabla N°3.7

*Características de oferta de Carretera Central y rutas alternas*

| Carretera                | Tramo                                                                            | Distancia (km) | Vehículos permitidos                                                                          |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Carretera Central</b> | Lima - La Oroya - Cerro de Pasco                                                 | 313            | *Vehículos con peso hasta 48 TM.                                                              |
| <b>Ruta 4</b>            | Lima - Huaura - Sayán - Churín - Oyón - Cerro de Pasco                           | 323            | *Camiones semirremolques de hasta 5 ejes.<br>*Buses hasta 3 ejes (excepto buses de 2 pisos)   |
| <b>Ruta 2</b>            | Lima - Dv. Pasamayo - Huaral - Acos - Huayllay - Dv. Cochamarca - Cerro de Pasco | 267            | *Camiones hasta 3 ejes<br>*Buses hasta 3 ejes (incluye buses de 2 pisos a velocidad moderada) |
| <b>Ruta 1</b>            | Lima - Canta - Huayllay - Dv. Cochamarca - Cerro de Pasco                        | 263            | *Camiones hasta 3 ejes<br>*Buses hasta 3 ejes (excepto buses de 2 pisos)                      |
| <b>Carretera Central</b> | Lima - La Oroya - Huancayo                                                       | 305            | *Vehículos con peso hasta 48 TM.                                                              |
| <b>Ruta 3</b>            | Lima - Cañete - Dv. Yauyos - Ronchas - Chupaca - Huancayo                        | 434            | *Camiones hasta 2 ejes<br>*Buses hasta 2 ejes (excepto buses de 2 pisos)                      |
| <b>Ruta 5</b>            | Lima - Pisco - Huancavelica - Huancayo                                           | 684            | *Semitrailer<br>*Trailer de hasta 48 TM.                                                      |

Fuente: SUTRAN (<http://www.sutran.gob.pe/2017/01/rutas-alternas-habilitadas-ante-nuevo-cierre-de-la-carretera-central/>). Elaboración propia.

La vía del FCCA es una ruta con ciertas desviaciones y una bifurcación en La Oroya, hacia Cerro de Pasco y Huancayo. En la Tabla N°3.8 se muestran los tramos:

Tabla N°3.8

*Tramos y distancias del Ferrocarril Central Andino.*

| Vía Férrea                 | Tramo                       | Distancia (km) |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| Ferrocarril Central Andino | Lima - La Oroya             | 222            |
|                            | La Oroya - Huancayo         | 124            |
|                            | Ramal Huascacocha - Cut Off | 12.6           |
|                            | La Oroya - Cerro de Pasco   | 131            |

Fuente: OSITRAN (Informe de desempeño 2022 - Concesión del Ferrocarril del Centro, 2022).  
Elaboración propia.

El servicio de transporte de pasajeros y de carga a través de la infraestructura del Ferrocarril del Centro es prestado por la empresa Ferrocarril Central Andino S.A., FCCA, operador vinculado a FVCA. Al respecto, se precisa que el servicio de transporte de pasajeros no tiene una frecuencia diaria, sino que corresponde a un

servicio turístico con salidas programadas y cubre la ruta Lima – Huancayo – Lima, siendo el transporte de carga el principal servicio ofertado (Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte, 2022). El servicio de transporte de carga brindado por FCCA, constituye el principal medio de transporte de los productos relacionados con la actividad minera de la región central del país.

### 3.4. ASPECTOS GENERALES

#### 3.4.1. Localización del Proyecto

El Ferrocarril Central se encuentra ubicado entre las regiones de Lima, Junín y Pasco. Inicia en la provincia constitucional del Callao a 3 m.s.n.m. atravesando los distritos de Lima Metropolitana como Cercado de Lima, El Agustino, Vitarte, Chaclacayo, Lurigancho – Chosica, además también pasa por la Provincia de Huarochirí por los distritos de Ricardo Palma, Santa Cruz de Cocachacra, San Bartolomé, San Jerónimo de Surco, Matucana, San Mateo, Chicla. Dentro del departamento de Junin, provincia de Yauli el ferrocarril recorre los distritos de Morococha, Yauli y La Oroya. Entre el ramal minero de Ticlio a Morococha se encuentra el punto más alto, La Cima, que alcanza los 4835 m.s.n.m.

Desde La Oroya se divide en dos ramales uno a la ciudad de Huancayo y otro a la ciudad de Cerro de Pasco. (Ver Figura N°3.9). Además, en la Figura N°3.10 se observa la localización del proyecto y los lugares que atraviesa.



Figura N°3.9. Trazo actual del Ferrocarril Central Andino.

Fuente: Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/mapas\\_viales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html)

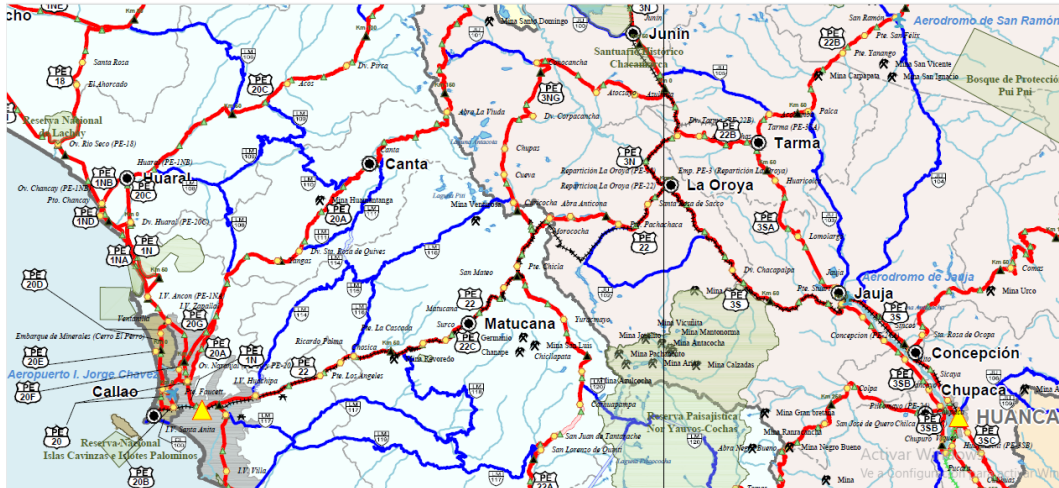


Figura N°3.10. Lugares que atraviesa el trazo actual del FCCA.

Fuente: Sistema Nacional de Carreteras (SINAC).

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/mapas\\_viales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mapas_viales.html)

#### 3.4.1.1. Tramo Chosica – La Oroya

El tramo Lima - La Oroya (3750 m.s.n.m.), de 222 km de extensión, es muy importante en términos de los retos impuestos por la agreste Cordillera de los Andes; a partir de la Estación Chosica (Km 54), es donde va adquiriendo características de un ferrocarril de montaña, con fuertes pendientes de 4.7% promedio y curvas de radio reducido. El recorrido de este tramo cuenta con una serie de extraordinarias obras complementarias de ingeniería ferroviaria, tales como los 61 viaductos de hierro, 66 túneles y 6 zonas de zigzag.

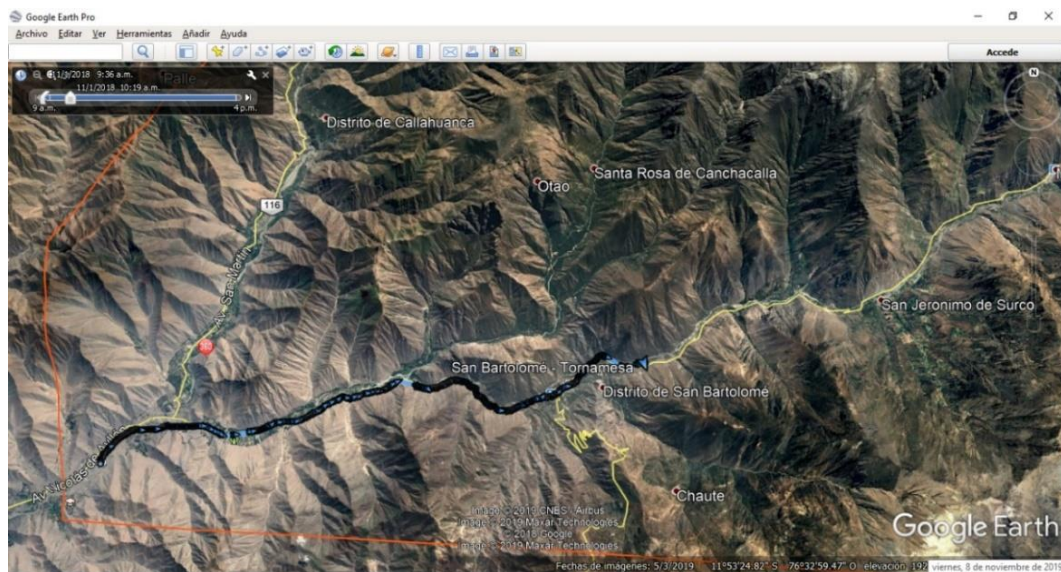


Figura N°3.11. Tramo Chosica – San Bartolomé.

Fuente: Recorrido en el FCCA. Elaboración propia

Las obras complementarias han permitido que el ferrocarril llegue a alturas de 4781 m.s.n.m. del túnel Galera que tiene 1177 metros de longitud (el segundo en extensión de la ruta) en el Km. 172 de la vía férrea. En el ramal Norte Ticlio - Morococha se encuentra el punto “La Cima”, con una altitud de 4.835 m.s.n.m., que es un ramal adyacente al original, el cual está en desuso actualmente. En la Figura N°3.11 se observa parte de la ruta actual del Ferrocarril Central Andino, entre Chosica y San Bartolomé (tramo obtenido con el app WIKILOC).

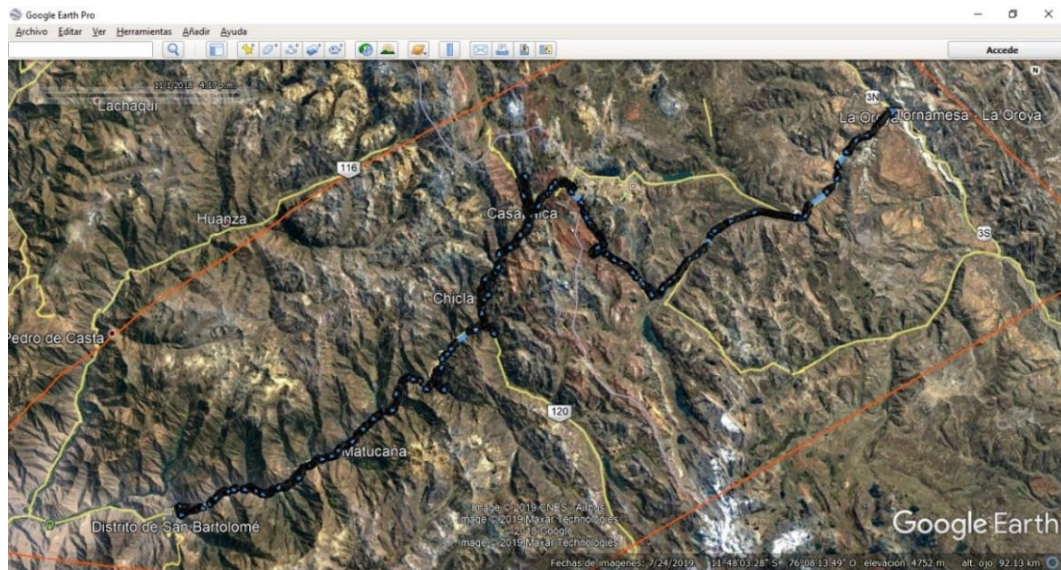


Figura N°3.12. Tramo San Bartolomé - La Oroya.  
Fuente: Recorrido en el FCCA. Elaboración Propia.

En la Figura N°3.12 se muestra la segunda parte de la ruta del Ferrocarril Central Andino, entre San Bartolomé y La Oroya.

El tramo entre Chosica y La Oroya tiene una longitud aproximada de 168 km., y una duración promedio de 12 horas de viaje; con probable mejoramiento en el diseño geométrico se que se reduzca el tiempo de viaje.

El Ferrocarril Central Andino tiene 150 años de operación aproximadamente, con ciertas mejoras en su trazo geométrico y su tecnología.

#### 3.4.2. Zona de Influencia del Proyecto

La zona de influencia del proyecto está compuesta principalmente de tres regiones, Lima, Junín y paco; el recorrido de la infraestructura concesionada a Ferrovías Central Andino, que forma parte del Ferrocarril Central Andino, está comprendido en dos tramos:

- Primer Tramo Callao – Huancayo: Del Km 1 (Callao, Patio Guadalupe) al Km 222 (La Oroya), y desde el Km 222 al Km 346 (Huancayo) más 12,6 km del ramal Huascacocha - Cut Off.
- Segundo Tramo La Oroya – Cerro de Pasco: Del Km 0 (La Oroya) al Km 131 (Cerro de Pasco)

La vía del Ferrocarril Central articula los principales centros mineros de las regiones de Lima, Junín y Pasco, entre ellos están Atacocha, el Brocal, Toromocho, La Oroya y Cajamarquilla. Los principales puntos de embarque de productos mineros para exportación son La Oroya y Cerro de Pasco.

El Ferrocarril Central Andino constituye el principal modo de transporte de productos minerales de la región central del país hacia la capital del Perú, permitiendo así el acceso de dichos productos a los distintos mercados de comercialización en el exterior.

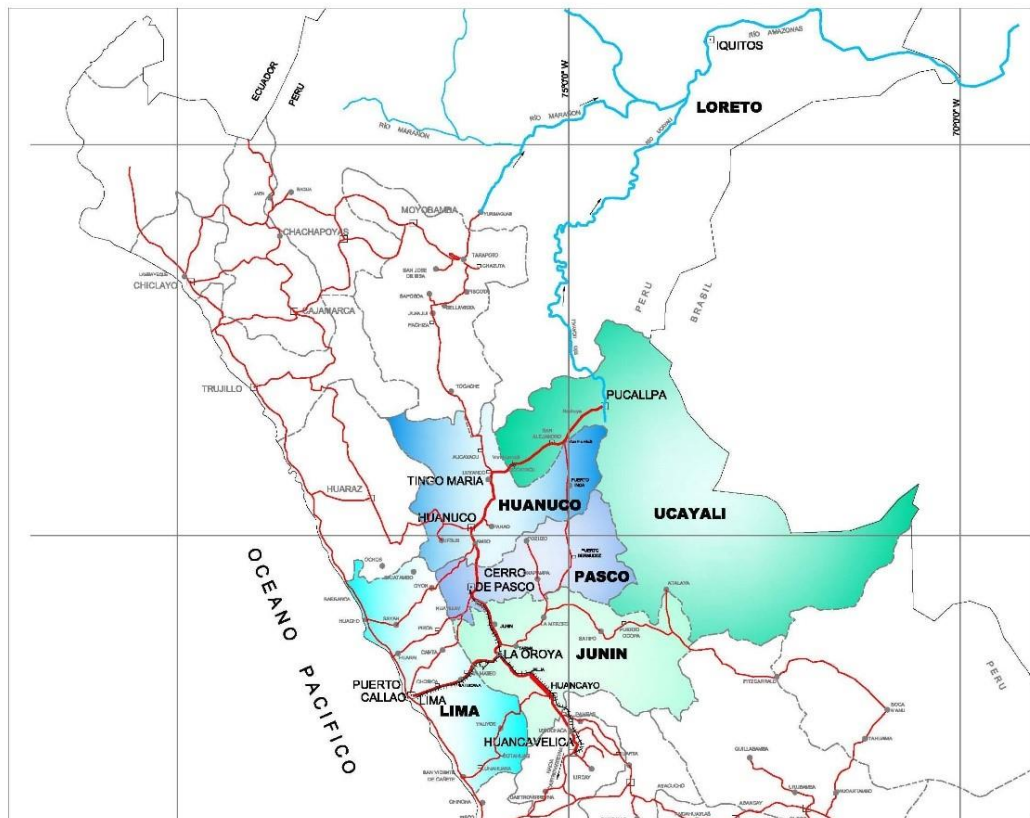


Figura N°3.13. Zona de influencia.  
Fuente: FCCA

Actualmente, el área de influencia del proyecto no sólo se limita al área de ejecución del tramo del Ferrocarril Central Andino, que en este caso comprende

los centros poblados de Chosica hasta Río Blanco, Arapa y La Oroya, en Lima y Junín, respectivamente, sino comprende unos 56 distritos de las provincias del Callao, Lima, Huarochiri, Yauli, Jauja, Concepción, Huancayo, Tarma, Junín, Pasco, de los departamentos que se beneficiarían con el mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura ferroviaria que forma parte de la columna vertebral vial del proyecto futuro del Corredor Bioceánico Central.

En la Figura N°3.13, se observa el área de influencia actual del Ferrocarril Central Andino, resaltando la red vial de carreteras y línea férrea, mostrando los departamentos y algunas provincias que conforman la zona, y también su llegada al Puerto del Callao.

#### 3.4.3. Trazo geométrico actual

En la sección 3.4.2, se muestran las diferentes longitudes por tramos del Ferrocarril Central Andino, obteniendo que la longitud total del trazo de vía férrea del FFCA es 489.6 km.

La gradiente máxima que tiene Ferrocarril Central es de 4.7 %, valor excesivo con respecto a valores permitidos en normas como ADIF y AREMA, que proponen 2% máximo para ferrocarriles mixtos de transporte de mercancías y pasajeros en el caso de vías férreas existentes, y valores de 1%, 1.5% hasta 3.0% dependiendo el tráfico sea mixto o de pasajeros.

El trazo actual presenta diferentes valores de radios de curvatura, alcanzando el mínimo valor de 120 m.

A continuación, en la Figura N°3.14 se muestran esquemáticamente los tramos del Ferrocarril Central Andino, esto basado en la información recopilada de las diferentes fuentes.

Se pueden ver las actuales estaciones, y su ubicación en el kilometraje, y longitudes de tramos.



Figura N°3.14. Ruta y estaciones actuales del Ferrocarril Central.  
Fuente: FCCA. Elaboración propia,

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA

En esta sección se va a realizar la metodología para modelar la demanda desde una perspectiva desagregada, que se refiere a estudiar, evaluar y analizar las variables que influyen en la elección del modo de transporte que más frecuente es utilizado por los viajeros versus el hipotético caso de un servicio de pasajeros del modo ferroviario.

### 4.1. MODELACIÓN DE LA DEMANDA CON PREFERENCIAS DECLARADAS

Esta metodología recolecta información a partir de encuestas de movilidad para una adecuada planificación y modelización del transporte.

En esta parte de la investigación dos de los objetivos son proponer un modelo de elección modal de demanda, también obtener y valorar la percepción que tienen los usuarios frente a los diferentes atributos que hacen fijar su elección entre si están dispuestos a utilizar el modo de transporte ferroviario o el modo carretero.

Para lograr los objetivos se plantea el diseño de encuestas de preferencias declaradas realizadas fuera del hogar en algunos lugares de interés (terminales de buses, terrapuestos, etc.) donde existan potenciales usuarios de viajes a los destinos del área de influencia del proyecto. Cabe indicar que no todos los destinos fueron seleccionados, solo algunos, de acuerdo al objetivo de estudio.

El diseño general de la encuesta tiene dos partes, una parte que corresponde a información de corte transversal, esto para complementar información respecto a características de los usuarios, y la otra propiamente de preferencias declaradas.

#### 4.1.1. Diseño y tamaño de la muestra

De acuerdo a la teoría revisada se realiza un muestreo aleatorio simple (MAS). Dentro de un MAS cada individuo tiene la probabilidad de ser elegido.

De acuerdo a Louviere et al. (2000), se conoce que el tamaño mínimo de la muestra se determina:

$$n \geq \frac{q}{rpa^2} * \Phi^{-1}\left(\frac{1 + \alpha}{2}\right)$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$\Phi^{-1}(\cdot)$  = Inversa acumulada de la función de distribución normal ( $z^2$ )

$p$  = proporción verdadera

$a$  = precisión relativa (error muestral admisible)

$\alpha$  = nivel de confianza

$r$  = número de escenarios

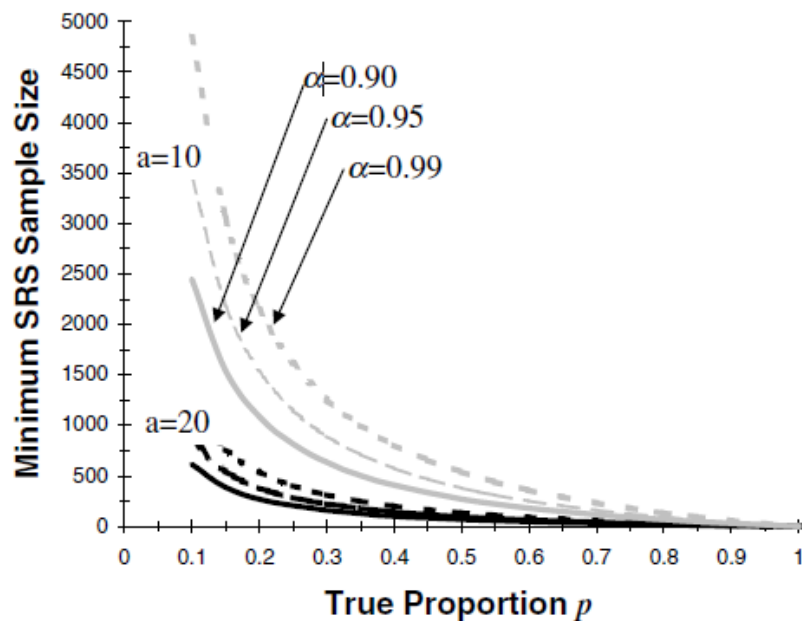


Figura N°4.1. Muestra mínima requerida para una MAS.

Fuente: Stated Choice Methods. Elaboración propia.

La Figura N°4.1 muestra cómo se comporta este el tamaño de muestra requerida en función de la proporción verdadera  $p$ , la precisión relativa  $a$  (10%, 20%) y el nivel de confianza  $\alpha$  (0.90, 0.95 y 0.99). Según la ecuación, los requisitos de tamaño de muestra son bastante modestos para proporciones altas (por ejemplo, superiores a 0,5), pero se vuelven muy altos para proporciones bajas (es decir, extrañas) y altos niveles de precisión relativa y niveles de confianza. En efecto, puede ser prohibitivo obtener estos tamaños de muestra para proporciones muy bajas. (Louviere, Hensher, & Swait, 2000, pág. 263)

De acuerdo a la figura y la ecuación se tabulan los valores asumidos de precisión relativa de 10% y un nivel de confianza de 0.95. Ver Tabla N°4.1.

Tabla N°4.1  
*Tamaño muestral*

| Proporción verdadera (p) | $q = p - 1$ | Precisión relativa (a) | Nivel de confianza ( $\alpha$ ) | n      | n/9   |
|--------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------|--------|-------|
| 0.1                      | 0.9         | 0.1                    | 0.95                            | 3457.4 | 384.2 |
| 0.2                      | 0.8         | 0.1                    | 0.95                            | 1536.6 | 170.7 |
| 0.3                      | 0.7         | 0.1                    | 0.95                            | 896.4  | 99.6  |
| 0.4                      | 0.6         | 0.1                    | 0.95                            | 576.2  | 64    |
| 0.5                      | 0.5         | 0.1                    | 0.95                            | 384.2  | 42.7  |

Fuente: Stated Choice Method (Louviere, Hensher, & Swait, 2000). Elaboración propia.

Asumiendo un 20% de proporción de usuarios del modo de transporte hipotético, se debería tomar una muestra aleatoria simple de tamaño 1536, sin embargo, para el experimento de elección se considera los 9 escenarios, en consecuencia, este tamaño implicaría dividirlo entre 9 y se obtendría 170, que sería el número total de encuestas a realizar.

Cabe indicar que Ortúzar & Willumsen (Modelos de Transporte, 2008), describen que, para definir el tamaño de la muestra significativa y representativa para un experimento de preferencias declaradas, siendo estadísticamente eficientes, se considera apropiado realizar más de 100 encuestas por el segmento determinado, en el caso estudiado implicaría que se el número de encuestas a tomar sería el adecuado.

#### 4.1.2. Diseño del experimento de elección de las encuestas de PD

Existen dos alternativas para generar diseños en experimentos de elección. La primera no realiza supuestos algunos relacionados a los parámetros a estimar en los modelos de elección y puede considerarse el enfoque tradicional, donde se encuentran entre otros los diseños factoriales y los diseños ortogonales (Louviere et al. 2000). La segunda alternativa intenta aprovechar información a-priori de los parámetros para generar diseños eficientes que minimicen la cantidad de datos (Arellana, Ortúzar, & Rizzi, 2011).

Con respecto al tipo de diseño del experimento, se ha elegido realizar un diseño factorial fraccionado; si bien es cierto que ya se ha realizado experimentos denominados D-óptimos que se juzgan como eficientes para realizar las

estimaciones de demanda, los diseños factoriales ortogonales se caracterizan por poseer la interesante propiedad de no correlación entre las variables independientes (Arellana et al., 2011). Los diseños ortogonales no son eficientes, sin embargo, para los atributos seleccionados no se considera correlación, como lo habría, por ejemplo, cuando la hora de viaje estaría muy relacionado con la tarifa del mismo. Para este caso se necesitaría utilizar los diseños eficientes. Además, como se menciona en la sección 2.1.3, que en el Perú se viene realizando estudios de preferencias declaradas desde finales de siglo anterior, entre los más importantes, para la Línea 1 Metro de Lima (1998), para la actualización del modelo de la Línea 1 del Metro de Lima (2001) y por en JICA para el Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima (2005), pero a nivel académico experimental no se ha realizado estudios de PD con diseño de experimentos en el área de transportes.

Un objetivo clave dentro de un diseño experimental de preferencias declaradas es generar una encuesta que permita maximizar la información a obtener con el menor número de observaciones. Dos aspectos importantes en el éxito de un diseño experimental de PD son el realismo y la complejidad del mismo. Estas características se deben balancear para obtener resultados adecuados (Ortúzar & Willumsen, 2008, pág. 171).

Para el desarrollo y realización de la encuesta de preferencias declaradas se tomaron las etapas desarrolladas por Ortúzar (2000b) e Ibeas et al. (2015). Previo al desarrollo se muestra en la Figura N°4.2 un esquema del proceso general seguido para la elaboración del experimento.

Cabe señalar que de los diferentes pasos que se mencionaron en la teoría tanto de Ortúzar (2000b) e Ibeas et al. (2015) se consolidaron en 7 procesos como se muestra en la Figura N°4.2. Además, en los siguientes párrafos se procede a describir las etapas del proceso de elaboración del diseño del experimento y las consideraciones que se tuvo en cada de estas.

Se pueden omitir algunos pasos del diseño experimental de acuerdo a lo que recomiendan los autores de las citas referenciadas, esto dependiendo del tipo de experimento a realizar.

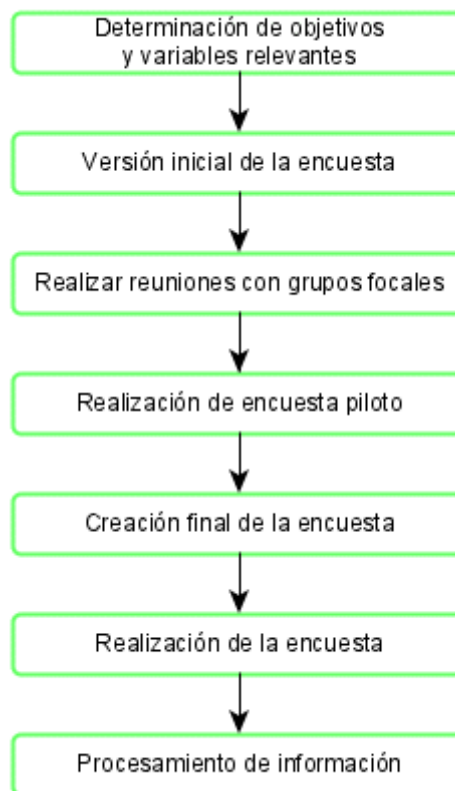


Figura N°4.2. Esquema del proceso del diseño de experimento de PD.  
Fuente: Manual de Encuestas de Movilidad (Ibeas et al., 2015). Elaboración propia

*1.- Determinación de los objetivos, identificación del ámbito de elección, los factores que se consideran, y el rango de variación a utilizar en la encuesta de preferencias declaradas.*

Realizar la encuesta incluye varios procesos. La primera etapa es importante debido a que se debe identificar claramente los objetivos, el ámbito de elección, las variables y sus rangos probables.

Como se mencionó, los objetivos en esta investigación son modelar desde una perspectiva desagregada la demanda, también, obtener y valorar la percepción que tienen los usuarios frente a las distintas variables que determinan la disposición a utilizar el modo ferroviario.

El ámbito de elección se generó del interés de estimar la decisión de los usuarios en decidir entre el servicio de bus y ferrocarril, este último como alternativa hipotética, en una encuesta del tipo *elección*, que es la más cercana a una situación real que se encuentran los usuarios.



Figura N°4.3. Esquema Proceso 1.

Fuente: Manuel de Encuestas de Movilidad (Ibeas et al., 2015). Elaboración propia.

Existen diferentes tipos de variables que pueden influir en el cambio modal de un usuario, estas variables o atributos también determinan el nivel de servicio percibido por los usuarios, por ejemplo: tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de arribo al terminal (terminal terrestre, aeropuerto, terminal portuario, etc.), comodidad (parados o sentados, aspecto de la unidad vehicular o coche, tipo de asiento, aire acondicionado, etc.), tarifas de viaje (costos o pasaje), confiabilidad (salidas programadas), seguridad (riesgo de accidentes), etc.

La elección de las variables de este estudio tiene como referencias algunas investigaciones realizadas en diferentes países. Por ejemplo, en la investigación realizada por Wulansari & Astari (2018), “Mode choice analysis using discrete choice model from transport user (Case study: Jakarta LRT, Indonesia), entre las principales variables que se estudiaron fueron el tiempo de viaje y la tarifa, también, en la investigación “Modelo de demanda para un tren de pasajeros entre Tunja y Bogotá” hecha por Luis Gabriel Márquez y Henry Jaimes Monsalve (2009), se estudiaron como atributos relevantes al tiempo, costo (tarifa), intervalo de tiempo entre despachos y tipo de servicio. También en la investigación “Percepción de los pasajeros del transporte ferroviario y carretero: un modelo de elección modal” (Videla Cruz, Vera, & Vejar, 1993), se utilizan las variables tiempo de viaje, tarifa, puntualidad y comodidad, para el análisis de su estudio, considerando las dos primeras variables mencionadas como importantes en el

impacto en la demanda. Espino et al. (2004), en la investigación “Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes”, realizada en la isla de Gran Canaria, obtuvieron entre las variables explicativas el tiempo de viaje, el costo de viaje, la frecuencia y la comodidad, para las alternativas.

Además, Juan de Dios Ortúzar, A.M. Ivelic y A. Candia B. (2000), en “Análisis de niveles de servicio en Transporte Público”, realizado Santiago de Chile, determinaron que el tiempo de viaje, el costo de viaje, la seguridad y la comodidad son variables importantes en la elección de los usuarios.

De acuerdo a investigaciones anteriores, y otras que no se han mencionado, se puede extraer que las variables tiempo de viaje y costo de viaje, son más importantes en la elección de los usuarios en los sistemas de transporte masivos. Además, la seguridad también es un factor importante en la elección, empero para esta investigación se decidió como tercera variable la comodidad, debido a que esta variable es importante para viajes largos en comparación con viajes cortos, y está asociada de manera más cercana a la realidad de los usuarios.

Por otro lado, se entiende desde un punto de vista técnico que el ferrocarril es un sistema más seguro que el transporte por bus, y si bien es cierto en cuestión a la Carretera Central es importante la seguridad, se trata de evitar que el juicio determinado por los usuarios esté supeditado a una variable. Para no perder información y/o comprobar este juicio, dentro del cuestionario se colocó una pregunta relacionada a la seguridad.

Las variables independientes consideradas deben tener un rango de variación probable. De acuerdo a las experiencias de viaje, las tarifas y tiempo de viaje que ofrecen las diferentes empresas de transporte terrestre de la ruta a analizar, se determinó:

Tabla N°4.2  
*Niveles de atributos*

| Variables o atributos | Und.  | Niveles Bus |      |    | Niveles Ferrocarril |      |     |
|-----------------------|-------|-------------|------|----|---------------------|------|-----|
|                       |       | 0           | 1    | 2  | 0                   | 1    | 2   |
| Tiempo de viaje       | horas | 8           | 10   | 12 | 3                   | 3.5  | 4   |
| Costo del pasaje      | S/.   | 20          | 50   | 80 | 80                  | 100  | 120 |
| Comodidad             | -     | Baja        | Alta | -  | Baja                | Alta | -   |

Elaboración propia

Los valores de la Tabla N°4.2 se obtienen del siguiente análisis realizado:

El tiempo de viaje promedio en bus de Lima a la ciudad de Huancayo es de 8.30 horas considerando como punto de partida los terminales terrestres en Lima, los que se encuentran en San Isidro, Yerbateros y el terminal de Plaza Norte. Por otra parte, en Huancayo se tiene los terminales de Los Andes y el Gran Terminal terrestre de Huancayo, como terminales de llegada.

Para comprobar los datos ofrecidos por las empresas de bus, al igual que para verificar los problemas del diseño geométrico en la zona de estudio, se realizó un viaje en bus Lima – Huancayo - Lima, obteniendo un promedio de tiempo de viaje de 9 horas, se indica que para ingresar al centro de San Isidro la congestión vehicular hace que el bus demore en arribar al terminal. Luego se realizó otro viaje, la ida se realizó en ferrocarril, donde el tiempo de viaje fue de 11 horas, siendo este un servicio turístico, y el viaje de retorno, el tiempo de viaje fue de 7:37 horas en bus.

El tiempo de viaje del caso hipotético se obtiene considerando que la velocidad de diseño es de 120 km/h. La distancia por carretera entre Lima y Huancayo es de 304.4 km., y la nueva distancia férrea considerando las mejoras en la vía, sería de 400 km, el tiempo de viaje sería de aproximadamente 3.3 horas.

Los costos de los boletos de viaje en bus son variados; en el terminal de Yerbateros, donde hay bastante afluencia de personas por las noches, se encuentran precios desde 20 soles entre las 10:00 a.m. y las 12 m. y 35 soles en otros horarios. Empresas consolidadas manejan precios estándares entre 40 soles y 100 soles, aunque en algunas ocasiones depende del horario y día de viaje.

En días festivos, el alza de los precios es inevitable, se manejan precios desde 60 soles hasta 120 soles, y más.

Hasta el año 2019 el precio de viaje Lima – Huancayo vía tren es de 315 y 400 soles, en servicio clásico y turístico. No se tiene alguna referencia de precio para un tren interurbano. Los costos propuestos van en relación a las tarifas más altas que ofertan los buses.

Adicionalmente, tomando como referencia valores en otras ciudades, por ejemplo, entre Barcelona y Madrid, en un tren de alta velocidad (AVE) se encuentran tarifas desde 25,95 € hasta 181.45 €, en moneda nacional sería equivalente a 103.69 soles y 725.0 soles para un tramo de 505 Km y una velocidad media de 171.9 km/h. (<https://avetrenes.com/es>) esta tarifa varía en función de horarios y la clase.

Con respecto a la comodidad, tanto en el bus como en el ferrocarril está referidas al confort que pueden percibir los usuarios y ha sido expresada en términos cualitativos, tal como lo exponen Videla et al. (1993), en la investigación sobre la percepción de pasajeros de un modo ferroviario y bus.

La comodidad baja es cuando el vehículo o coche tiene asientos en mal estado y con muy poco espacio, además no tiene sistema de ventilación. La comodidad alta es cuando se viaja en asientos en buen estado, lo suficiente reclinables, tienen el espacio necesario, y también tiene ventilación, tomacorrientes para cargar equipos electrónicos, etc. La descripción se hizo en base a la experiencia realizada, y también tomando las referencias que hace Espino et al. (2004, pág. 769). Cabe señalar que el servicio del FCCA es cómodo en asiento, tiene espacio suficiente, sin embargo, no tiene estabilidad en el desplazamiento, y entre otras de las desventajas no tiene suficientes tomacorrientes.

Considerando todas estas situaciones descritas se determinaron los niveles de la Tabla N°4.2.

*2. Preparar una versión inicial de la encuesta y diseñar un borrador del cuestionario. Se tendrán en cuenta los valores límites del diseño en cuanto a coste y calidad de estos entre otros factores.*

La encuesta a los usuarios se dividió en dos secciones una de caracterización y otra de preferencias declaradas. La primera sección procuraba obtener información socioeconómica, información respecto al viaje a realizar, información respecto a un nuevo modo de transporte. La segunda sección, de preferencias declaradas, recolectaría información sobre su elección entre ambos modos en distintos escenarios.

Para diseñar la encuesta de preferencias declaradas se desarrolla el diseño experimental con la necesidad de obtener la probabilidad de utilización del modo de transporte ferroviario en comparación con el modo carretero o rodoviario.

Se decidió realizar un diseño ortogonal, factorial fraccional (Kocur, Adler, Hyman, & Aunet, 1982), el cual garantiza que no existe correlación entre los atributos, de esta manera se estima mejor manera la valoración de cada variable. Además, el diseño fue etiquetado, en el que cada una de las alternativas representa una opción específica. A continuación, se presenta la Tabla N°4.3 utilizada para el diseño factorial fraccional.

Tabla N°4.3  
Índice de planes experimentales de Kocur

| INDEX OF EXPERIMENTAL PLANS |                        |                        |   |   |   |                          |                                                            |                                                                   |                 |                          |                                                           |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|---|---|---|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1                           | 2                      | 3a 3b 3c 3d            |   |   |   | 4                        | 5                                                          | 6                                                                 | 8               | 9                        | 10                                                        |
| Experimental Plan Code No.  | Total No. of Variables | Number of Variables at |   |   |   | Number of Tests Required | Are All Main Effects Independent of 2-Factor Interactions? | Number of Independent Two-Factor Interactions Under Assumed Model | Master Plan No. | Using Columns Number     | Columns From Which 2-Factor Interactions Can Be Estimated |
| 35a                         | 3                      | 1                      | 2 | 0 | 0 | 9                        | No                                                         | 0                                                                 | 3               | 1,2,8                    | None                                                      |
| 35b                         | 3                      | 1                      | 2 | 0 | 0 | 10                       | Yes                                                        | 3 (All)                                                           | 0 (FF)          | 1,2,14                   | All                                                       |
| 36a                         | 4                      | 1                      | 3 | 0 | 0 | 9                        | No                                                         | 0                                                                 | 3               | 1,2,3,8                  | None                                                      |
| 36b                         | 4                      | 1                      | 3 | 0 | 0 | 27                       | Yes                                                        | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,13*                | AC:1,2,5 or WAO:1                                         |
| 36c                         | 4                      | 1                      | 3 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,8*                 | WAO:1                                                     |
| 37a                         | 5                      | 1                      | 4 | 0 | 0 | 16                       | No                                                         | 0                                                                 | 5               | 6,7,8,9,25               | None                                                      |
| 37b                         | 5                      | 1                      | 4 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,10,13*             | AC:1,2,5                                                  |
| 37c                         | 5                      | 1                      | 4 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 4                                                                 | 8               | 1,2,5,8,9*               | WAO:1                                                     |
| 38a                         | 6                      | 1                      | 5 | 0 | 0 | 18                       | No                                                         | 0                                                                 | 6               | 1,2,3,4,5,14             | None                                                      |
| 38b                         | 6                      | 1                      | 5 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,10,11,13*          | AC:1,2,5                                                  |
| 39a                         | 7                      | 1                      | 6 | 0 | 0 | 18                       | No                                                         | 0                                                                 | 6               | 1,2,3,4,5,6,14           | None                                                      |
| 39b                         | 7                      | 1                      | 6 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,10,11,12,13*       | AC:1,2,5                                                  |
| 40                          | 8                      | 1                      | 7 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 1                                                                 | 8               | 1,2,5,6,10,11,12,13*     | AC:1,2                                                    |
| 41                          | 9                      | 1                      | 8 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 1                                                                 | 8               | 1,2,5,6,7,10,11,12,13*   | AC:1,2                                                    |
| 42                          | 10                     | 1                      | 9 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 1                                                                 | 8               | 1,2,5,6,7,8,10,11,12,13* | AC:1,2                                                    |
| 43a                         | 3                      | 2                      | 1 | 0 | 0 | 8                        | No                                                         | 0                                                                 | 2               | 2,6,7                    | None                                                      |
| 43b                         | 3                      | 2                      | 1 | 0 | 0 | 12                       | Yes                                                        | 3 (All)                                                           | 4               | -                        | All                                                       |
| 44a                         | 4                      | 2                      | 2 | 0 | 0 | 9                        | No                                                         | 0                                                                 | 3               | 1,2,7,8                  | None                                                      |
| 44b                         | 4                      | 2                      | 2 | 0 | 0 | 27                       | Yes                                                        | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,13*                | AC:1,2,5, or WAO:1                                        |
| 44c                         | 4                      | 2                      | 2 | 0 | 0 | 27                       | No                                                         | 3                                                                 | 8               | 1,2,5,8*                 | WAO:1                                                     |

Fuente: Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment (Kocur, Adler, Hyman, & Aunet, 1982).

También se identifica el plan maestro a utilizar para el diseño experimental (Ver Tabla N°4.4).

Tabla N°4.4  
Plan Maestro 3

| 9 trials |   |   |   |   |   |   |   |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0        | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0        | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0        | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1        | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1        | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1        | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2        | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2        | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 2        | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Fuente: Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment Kocur et al. (1982)  
Elaboración propia.

Los valores fueron obtenidos de las tablas. Ver Anexo F.

En la Tabla N°4.5 se muestra el plan seleccionado de acuerdo al número de variables y niveles, además se traduce la descripción de los índices de diseño y se detalla estos.

Tabla N°4.5  
*Plan Maestro seleccionado*

| Ítem | Descripción                                                                             | Índice  |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1    | N° Código de plan experimental                                                          | 35a     |
| 2    | N° total de variables                                                                   | 3       |
| 3a   | Número de variables por 2 niveles                                                       | 1       |
| 3b   | Número de variables por 3 niveles                                                       | 2       |
| 3c   | Número de variables por 4 niveles                                                       | 0       |
| 3d   | Número de variables por 5 niveles                                                       | 0       |
| 4    | Número de pruebas requeridas                                                            | 9       |
| 5    | ¿Son todos los efectos principales independientes de las interacciones de dos factores? | No      |
| 6    | Número de interacciones independientes de dos factores bajo el modelo asumido           | 0       |
| 7    | No Usado                                                                                | -       |
| 8    | Plan Maestro N°                                                                         | 3       |
| 9    | Número de columnas a utilizar                                                           | 1, 2, 8 |
| 10   | Columna desde la cual dos factores pueden ser estimados                                 | Ninguno |

Fuente: Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment Kocur et al. (1982)  
Elaboración propia

Los índices de diseño contienen la siguiente información:

*Columna 1: Número de código de plan experimental* - Esta columna identifica el plan específico.

*Columna 2: Número total de variables* - Esta columna indica el número total de variables para lo cual el plan es aplicable.

*Columna 3: Número de variables con 2, 3, 4 y 5 niveles* - Esta columna reemplaza la notación  $2^{n1} \times 3^{n2} \times 4^{n3} \times 5^{n4}$  y especialmente identifica las condiciones del experimento que deben ser usadas. Además,  $n = n1 + n2 + n3 + n4$ , donde "n" es el número de niveles totales.

*Columna 4: Número de pruebas requeridas* - Esta columna da el número total de pruebas experimentales necesarias para ejecutar una réplica del experimento.

*Columna 5: ¿Son todos los efectos principales independientes de las interacciones de dos factores?* - Esta columna, que contiene una entrada "sí" o "no", indica si los efectos principales pueden estimarse libres de interacciones de dos factores.

*Columna 6: Número de independencia de la interacción de dos factores bajo el modelo asumido* - Esta columna indica el número de interacciones de dos factores que pueden ser estimados independiente de los efectos principales y otras interacciones estimables de dos factores. El número indicado da el número total de tales interacciones.

*Columna 7: No usado.*

*Columna 8: Número de plan maestro* - Esta columna indica el plan en la lista maestra desde el cual seleccionar las combinaciones de tratamiento exactas. Las columnas exactas a elegir de este plan maestro se indican en la columna 9.

*Columna 9: Número de columna utilizada* - Esta columna especifica la columna exacta a elegir del plan maestro indicado en la columna 8.

*Columna 10: Columna desde la cual dos factores que interactúan pueden ser estimados* - Esta columna indica para qué variables se pueden estimar las interacciones de dos factores a partir del diseño.

Conociendo las definiciones, el plan maestro para el diseño experimental quedaría.

Tabla N°4.6  
*Plan maestro para diseño de PD*

| Alternativa | Cv | Tv | Co |
|-------------|----|----|----|
| 1           | 0  | 0  | 0  |
| 2           | 0  | 1  | 0  |
| 3           | 0  | 2  | 1  |
| 4           | 1  | 0  | 1  |
| 5           | 1  | 1  | 0  |
| 6           | 1  | 2  | 0  |
| 7           | 2  | 0  | 0  |
| 8           | 2  | 1  | 1  |
| 9           | 2  | 2  | 0  |

Fuente: Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment Kocur et al. (1982)  
Elaboración propia.

Donde:

C<sub>v</sub>: Costo de viaje

T<sub>v</sub>: Tiempo de viaje

C<sub>o</sub>: Comodidad

Los números 0, 1 y 2, dentro de la tabla, corresponde a una codificación numérica.

Las alternativas para ambos modos quedaron:

Tabla N°4.7

*Alternativas de elección para PD*

| FERROCARRIL |     |      | BUS |    |      |
|-------------|-----|------|-----|----|------|
| 3           | 80  | Baja | 8   | 20 | Baja |
| 3           | 100 | Baja | 8   | 50 | Baja |
| 3           | 120 | Alta | 8   | 80 | Alta |
| 3.5         | 80  | Alta | 10  | 20 | Alta |
| 3.5         | 100 | Baja | 10  | 50 | Baja |
| 3.5         | 120 | Baja | 10  | 80 | Baja |
| 4           | 80  | Baja | 12  | 20 | Baja |
| 4           | 100 | Alta | 12  | 50 | Alta |
| 4           | 120 | Baja | 12  | 80 | Baja |

Elaboración propia.

Finalmente se procedió a elaborar los conjuntos de elección, de manera aleatoria. A los conjuntos de elección se les denominó escenarios.

*3. Realizar un grupo focal a quienes se les presentará el cuestionario y del cual se concluirán posibles mejoras y se identificarán otras variables relevantes. Se evaluará los resultados del grupo focal y se modificará el diseño de las encuestas de ser necesario.*

Como sugiere Ortúzar (2000), se pueden omitir algunos pasos del proceso de elaboración de las encuestas, no se realizó un grupo de 5 u 8 personas como se sugiere, sin embargo, se revisó el formato de la encuesta con un profesional experto en estadística. Se realizaron los cambios correspondientes.

*4. Paralelamente o una vez realizado el grupo focal es importante y fundamental la realización de una encuesta piloto, evaluar sus resultados y rediseñar el cuestionario si fuese necesario.*

Se realizó una encuesta piloto, donde se identificaron preguntas poco entendibles a los usuarios, se ajustó la encuesta.

*5. Crear la versión final de la encuesta.*

Después de algunas modificaciones se obtuvo el diseño final. Ver Anexo G.

*6. Realización de la encuesta.*

Las encuestas se realizaron en distintos terminales terrestres en Lima. Se eligieron terminales terrestres, uno informal y otro formal, de acuerdo a la afluencia de personas.

- Terminal Terrestre Plaza Norte (Terminal Formal)
- Terminal Yerbateros (Terminal Informal)

Cabe indicar que un terminal terrestre tiene titularidad o es formal si es que cumple con el procedimiento de la Ley N° 27181, Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre.

*“Es requisito esencial para la utilización de los terminales terrestres y estaciones de ruta la obtención del Certificado de Habilitación Técnica de Terminales y Estaciones de Ruta, para lo cual deberá realizar el procedimiento correspondiente ante la Dirección General de Transporte Terrestre del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.”*

#### 7. Procesamiento de la información: digitación, codificación, validación, etc.

Se hizo la compilación de los datos en Excel, luego se codifica cada respuesta de la encuesta.

El proceso de validación consiste en revisar sistemáticamente las encuestas, con el fin de detectar errores, y verificar la coherencia de datos (Ibeas et al.,2015).

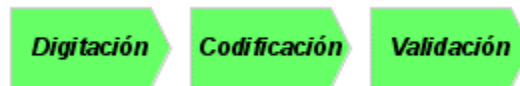


Figura N°4.4. Procesamiento de información.  
Elaboración propia

#### 4.1.3. Especificación del modelo

El modelo de demanda planteado se basa en el uso de datos de preferencias declaradas, la función de utilidad fue planteada en base a las variables explicativas o atributos del nivel de servicio.

Para el caso de la modelación de elección modal se planteó las siguientes funciones de utilidad:

$$V_{rail} = ASC_{rail} + \beta_{co\_rail} * CO_{rail} + \beta_{tv\_rail} * TV_{rail} + \beta_{com\_rail} * COM_{rail}$$

$$V_{bus} = \beta_{co\_bus} * CO_{bus} + \beta_{tv\_bus} * TV_{bus} + \beta_{com\_bus} * COM_{bus}$$

Donde  $V_{rail}$  es la utilidad para el modo ferroviario y  $V_{bus}$  es la utilidad para el modo bus.

El modelo específico del experimento junto a los parámetros a estimar, en teoría, se debe crear antes del diseño experimental y posteriormente crear el cuestionario, en este trabajo se realizó de acuerdo a la teoría. A continuación, se detalla el significado de cada abreviatura de los parámetros y variables.

|                     |                                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $CO_{bus}$          | = Variable Costo del bus                                           |
| $CO_{rail}$         | = Variable Costo del ferrocarril                                   |
| $TV_{bus}$          | = Variable Tiempo de viaje del bus                                 |
| $TV_{rail}$         | = Variable Tiempo de viaje del ferrocarril                         |
| $COM_{bus}$         | = Variable Comodidad del bus                                       |
| $COM_{rail}$        | = Variable Comodidad del ferrocarril                               |
| $\beta_{co\_bus}$   | = Parámetro específico asociado al costo de viaje del bus          |
| $\beta_{co\_rail}$  | = Parámetro específico asociado al costo de viaje del ferrocarril  |
| $\beta_{tv\_bus}$   | = Parámetro específico asociado al tiempo de viaje del bus         |
| $\beta_{tv\_rail}$  | = Parámetro específico asociado al tiempo de viaje del ferrocarril |
| $\beta_{com\_bus}$  | = Parámetro específico asociado a la comodidad del bus             |
| $\beta_{com\_rail}$ | = Parámetro específico asociado a la comodidad del ferrocarril     |
| $ASC_{rail}$        | = Constante específica del modo ferroviario                        |

Al incrementarse el costo o tarifa de viaje y el tiempo de viaje, reducen la demanda de un modo de transporte haciéndolo menos atractivo para un usuario que busca movilizarse rápido y a costo adecuado. La comodidad mientras sea mejor aumenta la demanda de un modo de transporte. En la siguiente tabla se muestra el signo esperado para cada variable de la función de utilidad.

Tabla N°4.8  
Signos esperados

| Variable | Tiempo viaje | Costo viaje | Comodidad |
|----------|--------------|-------------|-----------|
| Signo    | -            | -           | +         |

Elaboración propia

Se indica que el signo esperado para la constante modal debe ser positivo ya que debería haber aceptación por parte del uso del ferrocarril debido a que sus variables cuantitativas explicativas tienen mejores valores.

#### 4.1.4. Diseño de la encuesta de caracterización y Preferencias Declaradas

El diseño de la encuesta consta de 4 partes. La mayoría de preguntas se realizaron fueron cerradas o para que los usuarios marquen, debido a que pueda facilitar la comprensión y tiempo de respuesta.

La primera parte está orientada a información personal del usuario, en ella se solicita información sobre sexo, edad, nivel de estudios, posesión de licencia de conducir y ocupación actual.

La segunda parte está destinada a obtener información sobre el viaje a realizar. Se desea conocer, origen de viaje, destino, modo de transporte a utilizar, motivo por el cual están viajando, cuando compró el boleto de viaje, costo de viaje y que medio utilizó para llegar al terrapuerto o terminal, hora de salida de su casa, hora de llegada al terminal, las veces que viajó al destino mencionado y la frecuencia de viaje.

La tercera parte se basó en obtener información sobre la valoración del usuario frente a un nuevo modo de transporte, en este caso, el ferroviario. Se realizó escalas semánticas. Las preguntas se desarrollaron en como calificar al ferrocarril como un sistema de transporte masivo, seguro y rápido, si existiría el ferrocarril llegaría a utilizarlo.

La cuarta parte, tuvo preguntas para obtener información respecto a la parte económica del usuario y sobre la valoración de la seguridad en un modo de transporte.

Como se sabe es usual que las personas presenten cierta resistencia al revelar sus ingresos económicos es por eso que se presentó esta pregunta en rangos.

La última parte fueron las preferencias declaradas, donde se presenta los escenarios de elección de modo, entre ferrocarril y bus.

## CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

Para el desarrollo de este capítulo de la presente tesis se realizará el trazo geométrico conceptual del Ferrocarril Central Andino con la ayuda del software ISTRAM.

### 5.1. MEJORAMIENTO DEL TRAZO GEOMÉTRICO DEL FERROCARRIL

Para el realizar mejoramiento del trazo se debe referenciar el proyecto con una norma internacional debido a que el Reglamento Nacional de Ferrocarriles solo contiene criterios básicos para el diseño. Las normas tomadas como referencia son ADIF y AREMA.

En el Perú existe un Manual llamado “Norma y Especificaciones Técnicas para el diseño de vías Férreas en el Perú” elaborado y aprobado en 1978 que se encuentra en el portal web del MTC, además existe un Reglamento Nacional de Ferrocarriles aprobado el 2005, con algunas modificaciones en el 2013; estas normativas no cuentan con información detallada que se utilice para el diseño geométrico de ferrocarriles. A continuación, se muestra la Tabla N°5.1 con algunos parámetros que se encuentran en el Reglamento.

Tabla N°5.1  
*Parámetros de diseño geométrico de Ferrocarriles según en RNF*

| Descripción                             | Especificación                   | N° Artículo |
|-----------------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Tipos de trocha                         | Trocha estándar:1435 mm          | 3 y 48      |
| Tipo de Vía                             | Vía Férrea Local<br>Tipo Privada | 6.1 y 6.2   |
| Velocidad Máxima de Operación Permitida | Clase Tipo 4<br>128 km/ h        | 6.3         |
| Gradiente máxima                        | 3%                               | 48.a.3.3    |
| Radio mínimo                            | 150 metros                       | 48.a.3.3    |

Fuente: RNF (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2005). Elaboración propia.

De acuerdo al reglamento, para velocidades de operación mayores a 144 km/h no se tendría clasificación, y la gradiente máxima es de 3 %, valor que no es permisible de acuerdo a normas como ADIF, AREMA, RENFE, donde propone que el valor máximo sea 1.5%, hasta 2% con algunas excepciones. Este parámetro es de gran importancia ya que su valor está limitado por la capacidad de adherencia entre la rueda y los rieles (Oliveros Rives, 1977).

Por otro lado, debido a que el proyecto en realización tiene una base conceptual, la cartografía elegida se basa en imágenes ráster descargadas de un servidor web, esto se describe más adelante.

Una vez definida la cartografía se procede al diseño en planta u horizontal, donde se proyecta las rectas y curvas pertenecientes al eje; luego se realiza el diseño del perfil longitudinal o también llamado alzado, donde se define la rasante del proyecto, después se procede a los diseños de las secciones transversales, diseño de la vía y elementos de esta. Finalmente se hace un prediseño de las obras civiles que formarían parte del mejoramiento del trazo geométrico del Ferrocarril Central Andino y se verifica con la norma adoptada.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo del diseño geométrico del trazo conceptual de vía. Para esta parte solo se presenta el diagrama sin considerar otras especialidades importantes, que no consideran dentro del diseño conceptual. La Figura N°5.1 muestra el proceso de diseño geométrico.

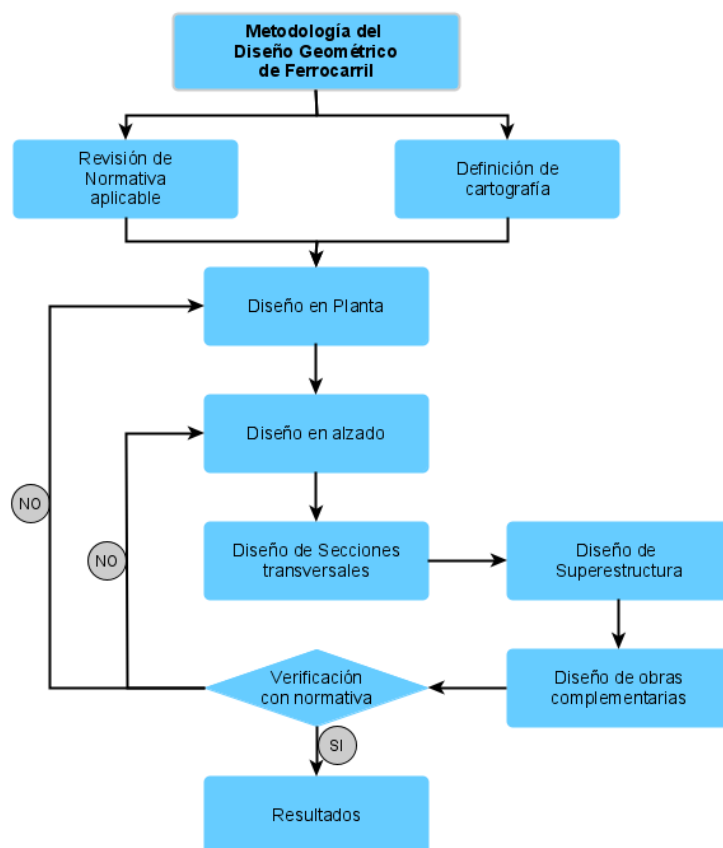


Figura N°5.1. Diagrama de flujo del Diseño Geométrico de Ferrocarril.  
Elaboración propia

### 5.1.1. Criterios generales

Se decide realizar un trazo de un solo eje en la vía para el Ferrocarril Central Andino debido al proyecto conceptual; el trazado en planta se define por el eje de la vía.

Las clotoides de entrada y salida en las alineaciones curvas deberán ser simétricas.

Se debe procurar tener mayor cantidad de alineaciones rectas y curvas de grandes radios.

### 5.1.2. Parámetros de diseño geométrico

Para el diseño se ha adoptado los parámetros de las Instrucciones Generales para los Proyectos de Plataforma (IGP) de ADIF. Las instrucciones y recomendaciones son aplicables a las líneas de ancho UIC (1.435 m), tanto para tráfico mixto como exclusivamente de viajeros con velocidades que lleguen hasta los 350 km/h. La velocidad del proyecto que se propone es de 120 km/h, y los parámetros adoptados estarían limitados por la velocidad máxima del proyecto menores a 140 km/h.

A continuación, se muestra la Tabla N°5.2 con los parámetros de diseño funcionales:

Tabla N°5.2

*Parámetros Funcionales para el diseño del trazado en planta según IGP – ADIF ( $V_{\text{máx}} < 140$  km/h)*

| TRAZADO EN PLANTA                                       | Símbolo (unidad)                            | Fórmula                                     | Normal | Excepción |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|--------|-----------|
| MÁX. INSUFICIENCIA DEL PERALTE                          | $l_{\text{máx}}$ (mm)                       | $(11.85(V_{\text{máx}})^2/R) - D$           | 100    | 130       |
| MÁX. AC. SIN COMPESAR                                   | $a_{\text{q máx}}$ (m/s <sup>2</sup> )      | $((V_{\text{máx}})^2/12.96R) - D/153.62$    | 0.65   | 0.85      |
| MÁX. EXCESO DE PERALTE (V <sub>mín</sub> TRENES LENTOS) | $E_{\text{máx}}$ (mm)                       | $D - (11.85(V_{\text{mín}})^2/R)$           | 80     | 100       |
| MÁX. VAR. PERALTE CON TIEMPO                            | $[dD/dt]_{\text{máx}}$ (mm/s)               | $(V_{\text{máx}} / 3,6) * (D/L)$            | 30     | 50        |
| MÁX. VAR. ÁNGULO DE GIRO DE VÍA                         | $[d\theta/dt]_{\text{máx}}$ (rad/s)         | $(V_{\text{máx}} / 3,6) * (D/1507) / L$     | 0.02   | 0.033     |
| MÁX. VAR. INSUF. CON EL TIEMPO                          | $[dl/dt]_{\text{máx}}$ (mm/s)               | $(l / L) * (V_{\text{máx}}/3,6)$            | 30     | 55        |
| MÁX. VAR. AC. NO COMP. CON EL TIEMPO                    | $[daq/dt]_{\text{máx}}$ (m/s <sup>3</sup> ) | $(a_{\text{q}} / L) * (V_{\text{máx}}/3,6)$ | 0.2    | 0.36      |

Fuente: IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011). Elaboración propia.

De acuerdo a la normativa ADIF (2011), los parámetros a utilizar son para las líneas de ancho UIC (1435 mm), tanto para tráficos mixtos como exclusivamente de viajeros, para todo el rango de velocidades. Su finalidad es definir las limitaciones geométricas y funcionales que debe cumplir el trazado en planta y alzado de la línea ferroviaria.

La siguiente tabla contiene los parámetros de la máxima aceleración vertical del trazo del ferrocarril en alzado.

Tabla N°5.3

*Parámetros Funcionales para el diseño del trazado en alzado según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140$  km/h)*

| TRAZADO EN ALZADO         | Símbolo (unidad)                      | Fórmula                           | Normal | Excepción |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------|-----------|
| MÁX. ACELERACIÓN VERTICAL | $a_v \text{ máx}$ (m/s <sup>2</sup> ) | $(V_{m\acute{a}x})^2 / 12,96 R_v$ | 0.22   | 0.31      |

Fuente: IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011). Elaboración propia.

La Tabla N°5.4 contiene los parámetros geométricos para el diseño del trazado del ferrocarril en planta.

Tabla N°5.4

*Parámetros geométricos para el diseño del trazo en planta según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140$  km/h)*

| PARÁMETROS DEL TRAZADO EN PLANTA                                                                                     | Símbolo (unidad)               | Normal                     | Excepción                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| PERALTE MÁXIMO                                                                                                       | $D_{m\acute{a}x}$ (mm)         | 140                        | 160                        |
| MÁX. VAR. PERALTE DE LA LONGITUD (Rampa de peralte)                                                                  | $[dD/dl]_{m\acute{a}x}$ (mm/m) | 0.8                        | 2                          |
| LONG. MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVA CONSTANTE - CURVA CIRCULAR                                                     | m                              | $\geq V_{m\acute{a}x} / 3$ | $\geq V_{m\acute{a}x} / 4$ |
| LONG. MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVA CONSTANTE - RECTA ENTRE CURVAS DE IGUAL SIGNO DE CURVATURA                     | m                              | $\geq V_{m\acute{a}x} / 3$ | $\geq V_{m\acute{a}x} / 4$ |
| LONG. MÍNIMA DE ALINEACIONES DE CURVA CONSTANTE - RECTA ENTRE CURVAS DE DISTINTO SIGNO DE CURVATURA (puede ser cero) | m                              | $\geq V_{m\acute{a}x} / 3$ | $\geq V_{m\acute{a}x} / 4$ |

Fuente: IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011). Elaboración propia.

Según las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI), que definen las normas técnicas para satisfacer los requisitos esenciales de seguridad, fiabilidad, salud, protección medio ambiental, compatibilidad técnica, etc. desarrollados por la Agencia Ferroviaria Europea (ERA) (<http://www.seguridadferroviaria.es/actividades/interoperabilidad/especificaciones-tecnicas-de-interoperabilidad>), y la normativa RENFE, el valor límite de pendiente

longitudinal o gradiente recomendado para las líneas convencionales es 20 ‰ para  $V < 140$  km/h (Ruano, 2007), al igual que la nota de probabilidad de la Tabla N°5.5, donde el valor permisible de gradiente es de 20 ‰ para líneas existentes, y teniendo en consideración optar por un trazado alternativo para el tráfico de mercancías. En caso solo se opte por tráfico de personas, la pendiente longitudinal podría ser hasta 30 ‰.

Se selecciona el parámetro de 20 ‰ para la gradiente o pendiente longitudinal del trazo conceptual.

Tabla N°5.5

*Parámetros geométricos para el diseño del trazado en alzado según IGP – ADIF ( $V_{m\acute{a}x} < 140$  km/h)*

| PARÁMETROS DEL TRAZADO EN ALZADO                               | Símbolo (unidad)      | Normal                     | Excepción                  |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| PENDIENTE LONGITUDINAL MÁX. - VÍA GENERAL. TRÁFICO DE VIAJEROS | $i_{m\acute{a}x}$ (%) | 25                         | 30                         |
| PENDIENTE LONGITUDINAL MÁX. - VÍA GENERAL. TRÁFICO MIXTO (*)   | $i_{m\acute{a}x}$ (%) | 12.5                       | 15                         |
| PENDIENTE LONGITUDINAL MÁX. - EN APARTADEROS                   | $i_{m\acute{a}x}$ (%) | 2                          | 2.5                        |
| PENDIENTE LONGITUD MÍNIMA EN TÚNELES Y TRINCHERAS              | $i_{mín}$ (%)         | 5                          | 2                          |
| LONGITUD MÍNIMA DE ACUERDOS VERTICALES                         | m                     | $\geq V_{m\acute{a}x} / 3$ | $\geq V_{m\acute{a}x} / 4$ |
| LONGITUD MÍNIMA DE RASANTE UNIFORME ENTRE ACUERDOS             | m                     | $\geq V_{m\acute{a}x} / 3$ | $\geq V_{m\acute{a}x} / 4$ |
| LONGITUD MÁXIMA DE RASANTE CON LA PENDIENTE MÁXIMA (**)        | m                     | 3000                       | 3000                       |

Fuente: IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011). Elaboración propia.

(\*) Se podrán adoptar pendientes mayores de 15 milésimas (sin superar las 20) cuando las adoptadas no superen las existentes en el encaminamiento actualmente utilizado; cuando se opte por mantener (total o parcialmente) un trazado alternativo para el tráfico de mercancías; y en elementos puntuales (ámbito urbano o con condicionantes ambientales restrictivos) siempre que se trate de longitudes muy reducidas.

(\*\*) Para pendientes entre la normal y la excepcional y longitudes  $\geq 3000$ m, justificar que la pérdida de velocidad no supera el 10% de las velocidades máxima y mínima de circulación.

De acuerdo al IGP-3, se puede observar en la Tabla N°5.6 Geometría para diferentes velocidades, el contenido de los valores de radios mínimos en curvas horizontales, longitudes mínimas de clotoides y parámetros mínimos de acuerdos verticales de acuerdo a diferentes velocidades máximas de proyectos, para el caso del trazo conceptual se tomarán los parámetros que corresponden a la velocidad máxima de 140 km/h, menor a la velocidad de diseño seleccionada.

Tabla N°5.6  
*Geometría para diferentes velocidades*

| Velocidad máxima de proyecto (km/h) | Velocidad mínima admisible de trenes lentos (km/h) | Radio mínimo curva circular (m) |           | Longitud mínima de clotoide (m) |           | Parámetros mínimos en acuerdos verticales (m) |           |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|-----------|
|                                     |                                                    | Normal                          | Excepción | Normal                          | Excepción | Normal                                        | Excepción |
| 140                                 | 75                                                 | 1000                            | 750       | 190                             | 160       | 7000                                          | 5000      |
| 150                                 | 80                                                 | 1125                            | 900       | 200                             | 160       | 8000                                          | 5900      |
| 160                                 | 85                                                 | 1275                            | 1000      | 210                             | 160       | 9000                                          | 6300      |

Fuente: IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011). Elaboración propia.

### 5.1.3. Evaluación del trazo actual

En las secciones anteriores se lista varias de las características del trazo actual del Ferrocarril Central, incluyendo los parámetros de diseño.

Para realizar un mejoramiento de manera conceptual del trazado geométrico se tuvo como referencia el trazo actual del FCCA, y a manera de verificación, que también se puede obtener de Google Earth, se realizó un viaje en el Ferrocarril Central Andino con la finalidad de tomar datos con la app WIKILOC, tal como se adelantó en la sección 3.4.1.1.



Figura N°5.2. Viaje en el FCCA - Estación San Bartolomé  
Elaboración propia

El recorrido actual de la vía férrea se encuentra en una topografía accidentada, característico del territorio peruano, la cual es una restricción importante para el desarrollo de las gradientes adecuadas a lo largo del eje.

El servicio turístico tuvo solo dos paradas, en la Estación San Bartolomé y la Estación Huancayo, la duración del recorrido fue de 13 horas.

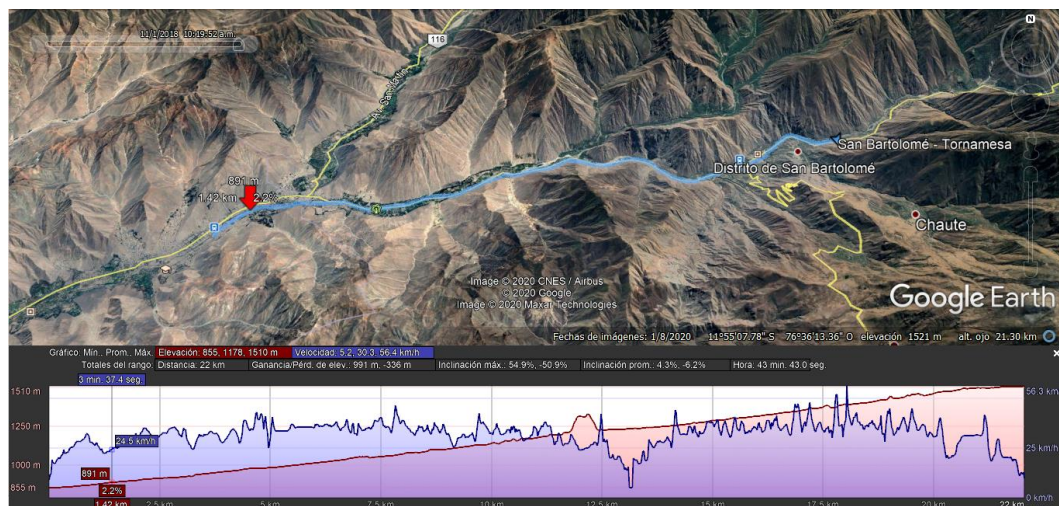


Figura N°5.3. Perfil Longitudinal, tramo Chosica - San Bartolomé.  
Elaboración propia.

En la Figura N°5.3 se puede observar el perfil longitudinal de un tramo del FCCA, también las velocidades en el viaje. La velocidad es restringida, teniendo un promedio de 35 km/h., limitado por la geometría de la vía. La pendiente promedio es de 3% para el primer tramo.

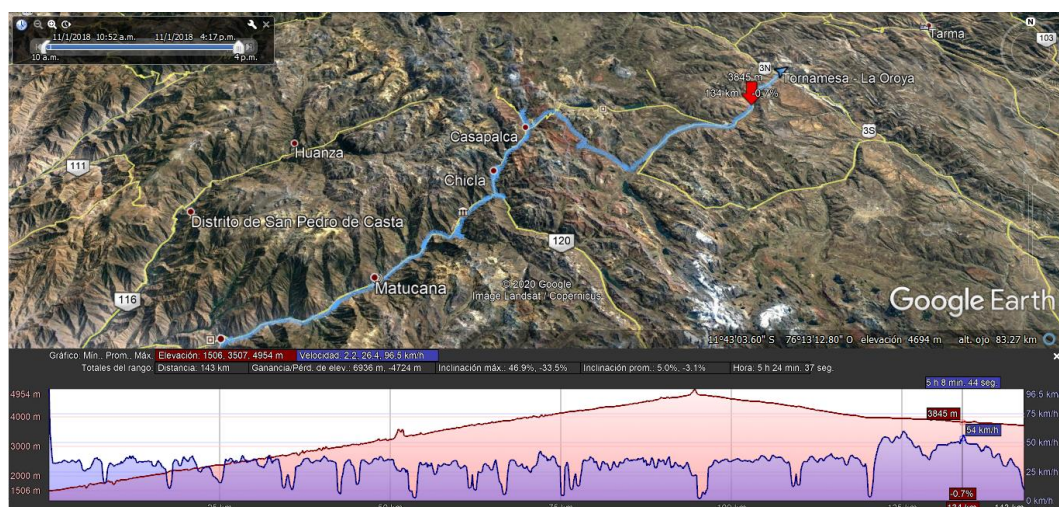


Figura N°5.4. Perfil Longitudinal, tramo San Bartolomé - La Oroya.  
Elaboración propia.

Los primeros 95 km del segundo tramo tiene un promedio de 3.7% en la pendiente longitudinal. Ver Figura N°5.4.

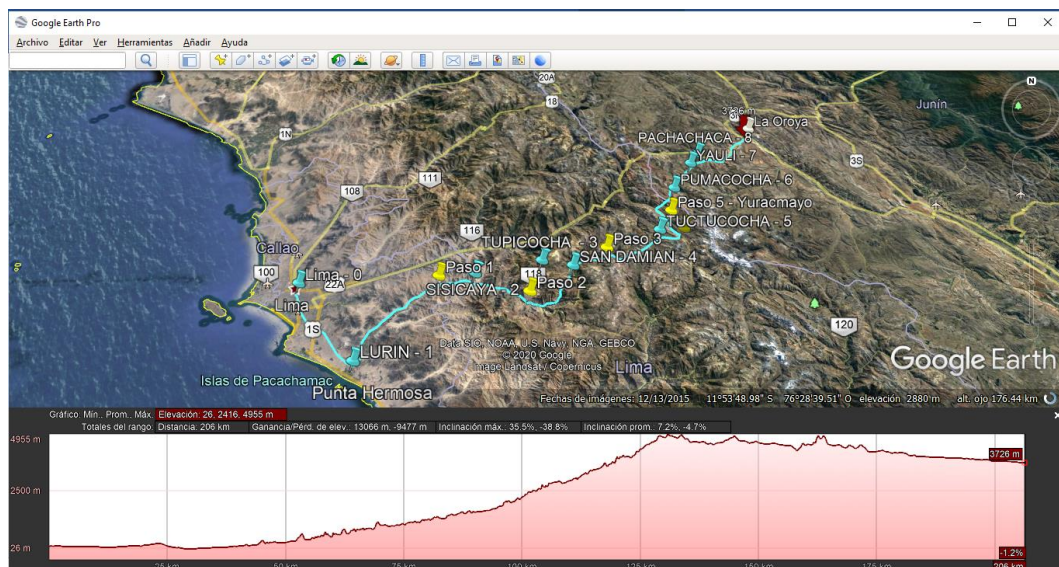


Figura N°5.5. Perfil longitudinal Ruta 4.  
Elaboración propia.

De acuerdo a expedición de Malinoswki, la opción 4, que al inicio fue apropiada, podría utilizarse para un trazo alternativo, que ayude a cumplir con los parámetros de diseño. Esta iniciaría o cambiaría el trayecto del FCCA en Chosica.

#### 5.1.4. Trazado geométrico utilizando ISTRAM

##### 5.1.4.1. Creación del proyecto de mejoramiento

En el software ISTRAM se ha creado una carpeta de trabajo donde se almacena todos los archivos generados para el trazo conceptual del ferrocarril.

##### 5.1.4.2. Superficie de terreno

Para obtener la superficie del terreno a lo largo del Ferrocarril Central se recogió información del servidor web del Ministerio del Ambiente ([http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download\\_raster.aspx](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx)) donde se encuentra información de un mapa topográfico realizado por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón. El mapa llamado ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) está en formato Geo TIFF con coordenadas geográficas y con resolución espacial de 30 metros y hace referencia al geoide WGS84. Cabe mencionar que

el software ISTRAM trabaja con diferentes tipos de superficie como superficies cartográficas, triangulaciones cartográficas (superficies TIN), rejillas (superficies GRID) y datos laser.

Para el desarrollo de la superficie se trabajó con el tipo cartografía y rejilla debido a las imágenes GeoTIFF obtenidas del servidor mencionado. Al iniciar el proyecto se realiza la georreferenciación del proyecto, y se carga las imágenes mencionadas. Ver Figura N°5.6.

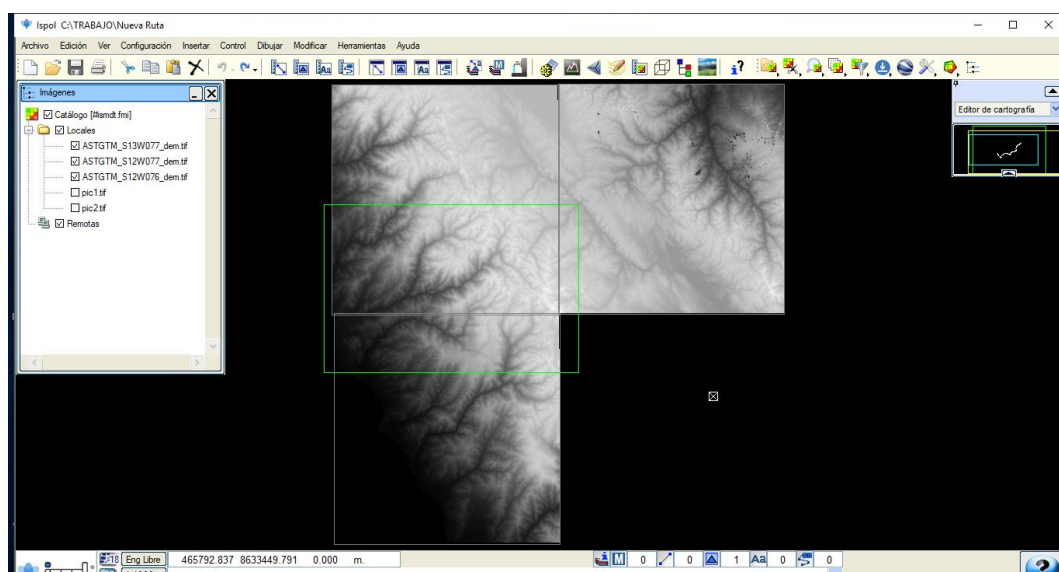


Figura N°5.6. Imágenes GeoTiff. Elaboración propia.

Se describe de manera breve los pasos seguidos para obtener la cartografía digital del terreno:

- Se importa imágenes de Google Earth para tener referencia de la zona del proyecto.
- Se carga la ruta 4 del FCCA (archivo kmz) proyectada en Google Earth, para tener una referencia del proyecto y localizarlo.
- Se procede a descargar imágenes de Google Earth para localizar el proyecto.
- Se procede a generar un archivo XYZ:
- Se procede a cargar el archivo generado
- Se genera la topografía.

- Se genera los puntos y se triangula, luego se procesa los datos.
- Se genera las curvas de nivel mediante isolíneas:

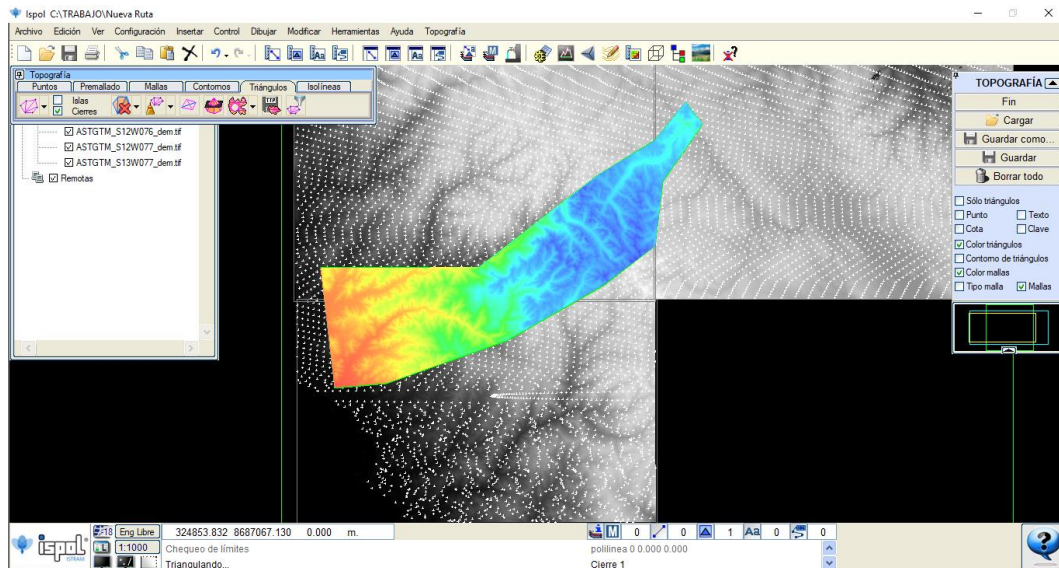


Figura N°5.7. Área de explotación de curvas.  
Elaboración propia.

La Figura N°5.7 muestra el área generada para la explotación de curvas de nivel. Todos los procesos descritos de manera breve sirven para obtener las curvas de nivel. Mayor detalle e imágenes del procedimiento en el Anexo H.

Finalmente se obtiene las curvas de nivel.

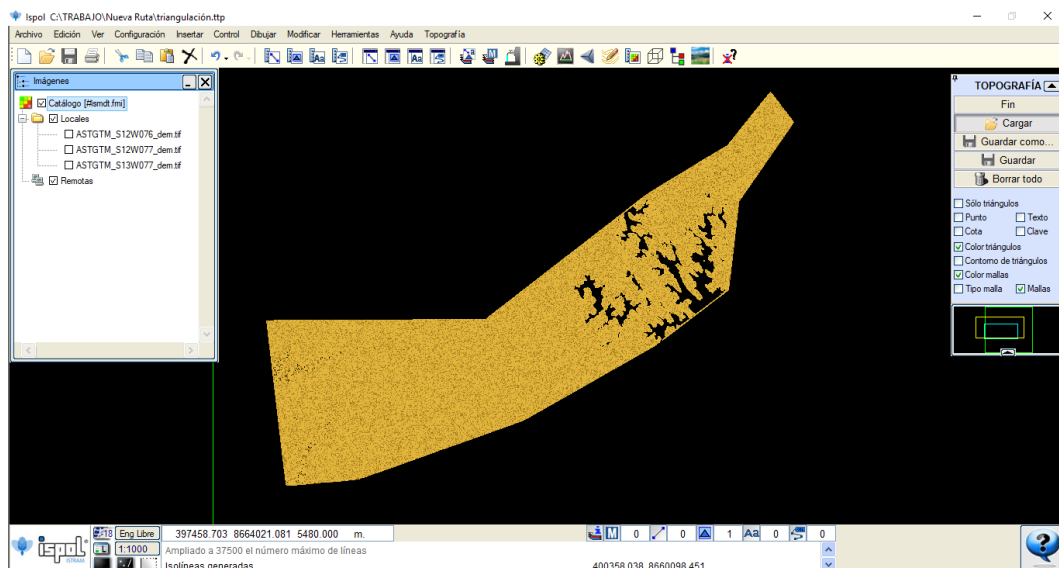


Figura N°5.8. Curvas de nivel.  
Elaboración propia.

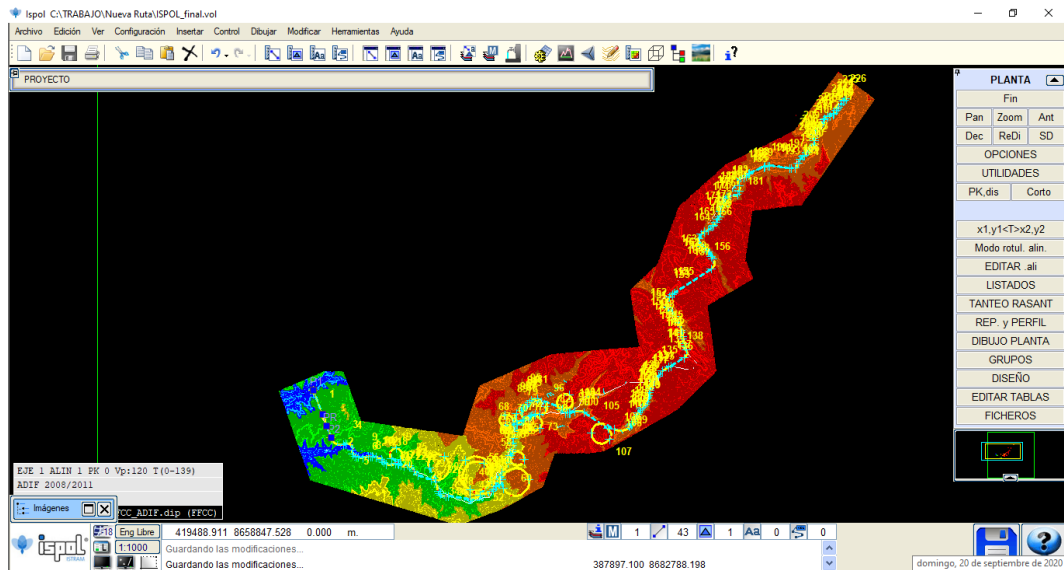


Figura N°5.9. Curvas de nivel con escalas de colores.  
Elaboración propia.

Para iniciar con el trazo se debe configurar la pestaña general donde se colocan los parámetros de diseño, y también la normativa a aplicar.

#### 5.1.4.3. Parámetros de diseño en ISTRAM

Se define los parámetros de diseño del proyecto a desarrollar. En las librerías de ISTRAM existen diferentes normativas para diseño de ferrocarriles. En el proyecto se carga la normativa de ADIF, y los parámetros de diseño. Ver Figura N°5.10.

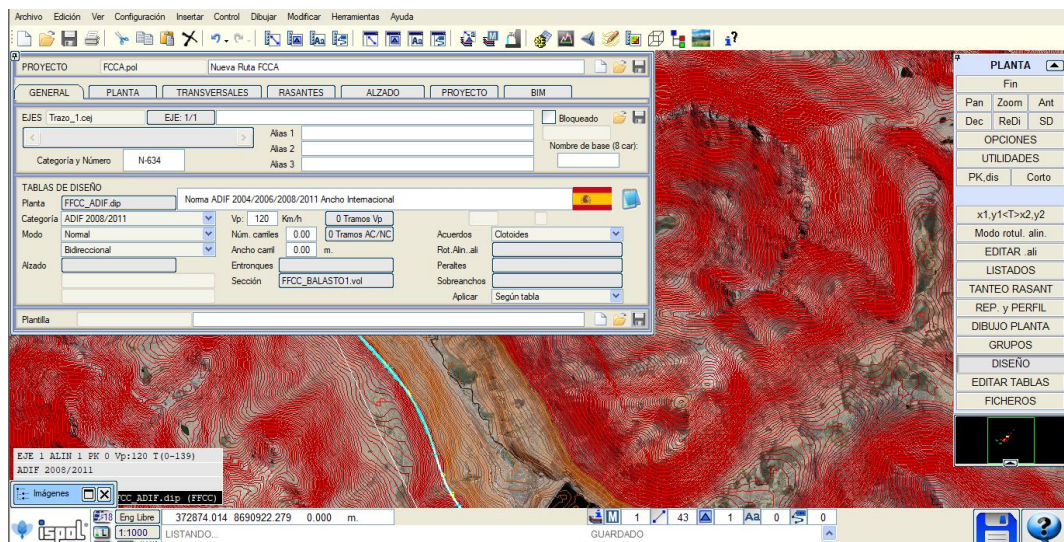


Figura N°5.10. Configuración general.  
Elaboración propia.

#### 5.1.4.4. Trazado Horizontal

El trazado del eje se realiza mediante alineaciones que están dadas por sus coordenadas en X e Y, y radios de curvatura. El eje del ferrocarril estará formado por alineaciones rectas, circulares y clótoides (acuerdos horizontales).

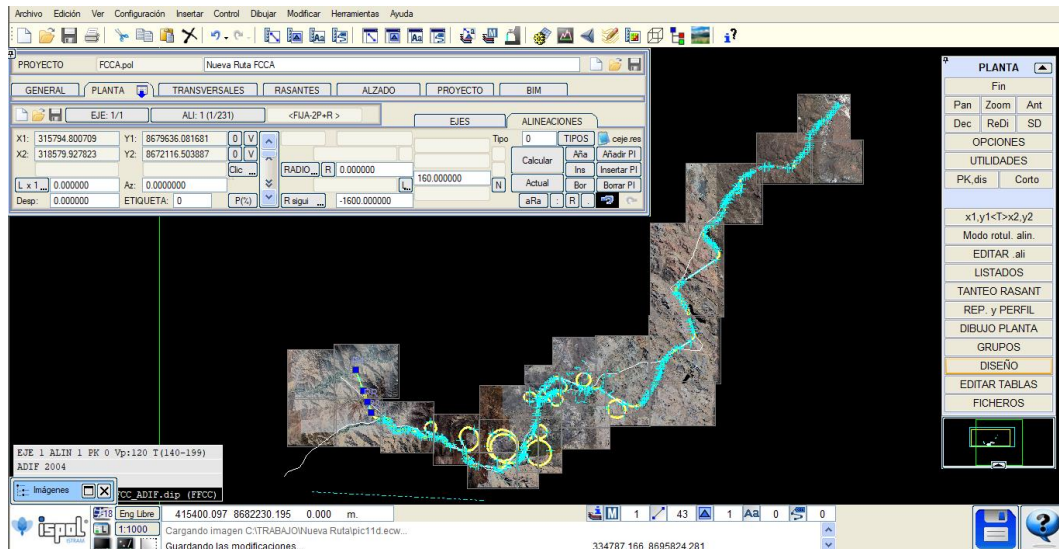


Figura N°5.11. Trazo alternativo en planta. Tramo Chosica - La Oroya.  
Elaboración propia

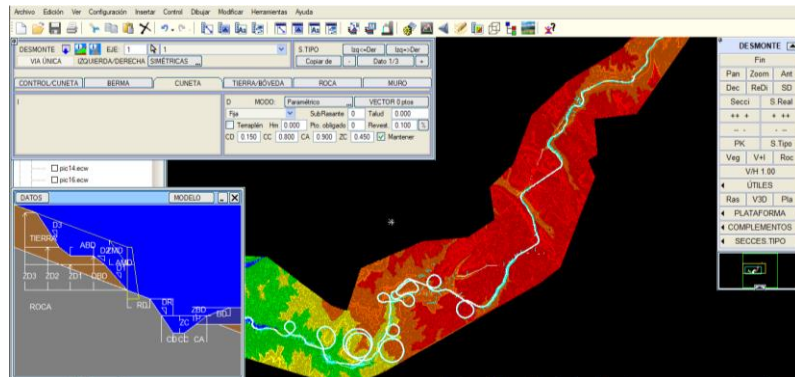
En la Figura N°5.11 se muestra el trazo alternativo en planta para la vía del Ferrocarril Central Andino. Para realizar estas alineaciones se tuvieron en cuenta los criterios de diseño que contribuyen al desarrollo en planta.

Con el trazo alternativo los zigzags fueron eliminados y se propuso túneles helicoidales para ganar altura en las rampas, de la misma manera que en el túnel de San Gotardo, en Suiza, donde alcanzó notoriedad por la construcción de sus tramos helicoidales (López Pita, 2010). Este tipo de obra también se ha realizado en otros países, por ejemplo, en España las conexiones internacionales con Francia, los enlaces Barcelona – Toulouse por Puigcerdá y Pau – Canfranc, presentaron el similar grado de dificultad que en los Alpes y esto obligó a la realización de túneles helicoidales (López Pita, 2010).

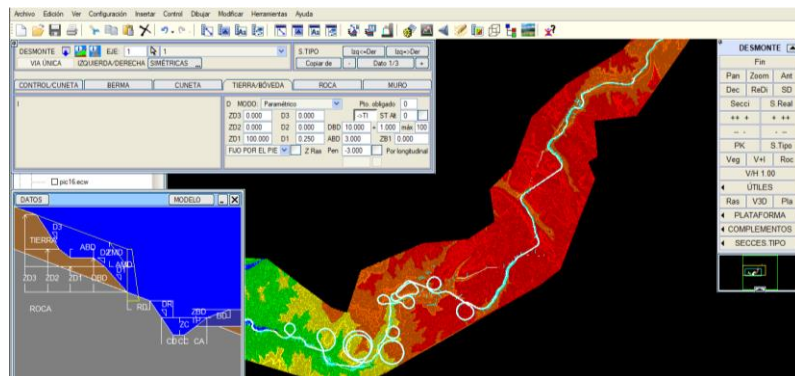
La Figura N°5.12 muestra la ventana de la pestaña PLANTA donde se tiene la cantidad de alineamientos realizados en el proyecto, en total 226, desde Chosica a La Oroya.

Algunos detalles adicionales del trazo en el Anexo J. Anexo I. Corte y relleno.

Parte de las secciones transversales incluyen cunetas, muros, etc. Para el eje conceptual trazado se considera para cuneta los valores de la siguiente figura.

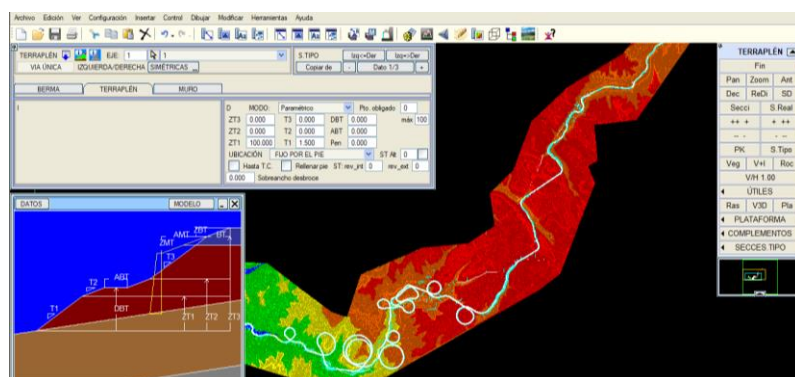


Secciones cuneta. Elaboración propia.



Secciones taludes. Elaboración propia.

Se considera un talud de corte de 1:4, como referencia. Los taludes de terraplén (relleno) se definen muy similar a como se ha hecho en el corte. Para el caso de relleno se considera 1.5.



Secciones relleno en Istram. Elaboración propia

## Anexo J

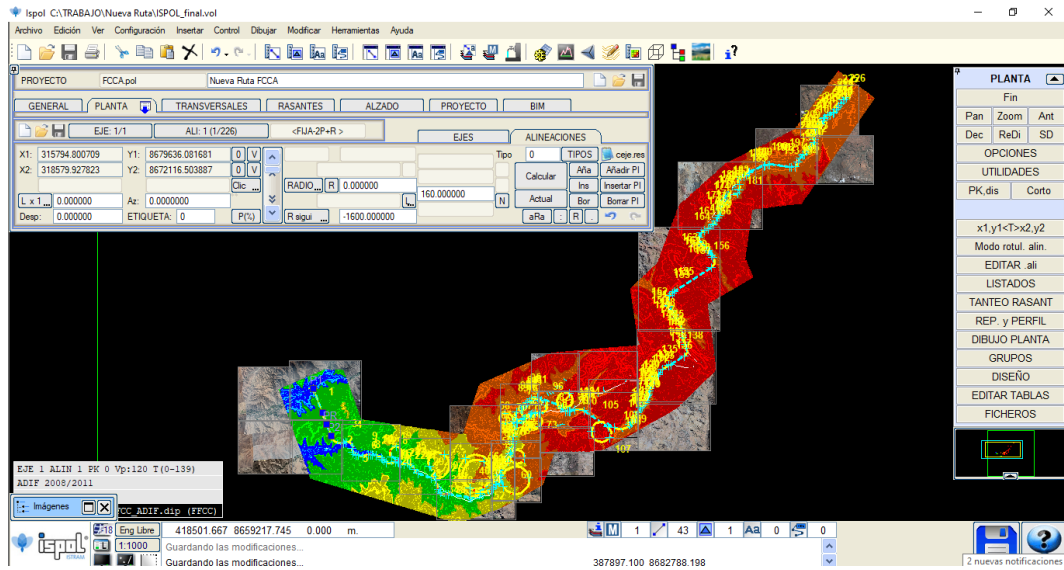


Figura N°5.12. Alienaciones en planta para el trazo horizontal.  
Elaboración propia.

### 5.1.4.5. Generación de secciones transversales y superficie

Definido el trazo horizontal se procede a extraer perfiles con el objetivo inicial de tener referencia para el diseño de la rasante, también servirá para la construcción de la sección tipo del alzado. Es aquí donde se crea la superficie del terreno para generar perfiles, con estos se obtiene el perfil longitudinal del terreno (rasante). Ver Figura N°5.13.

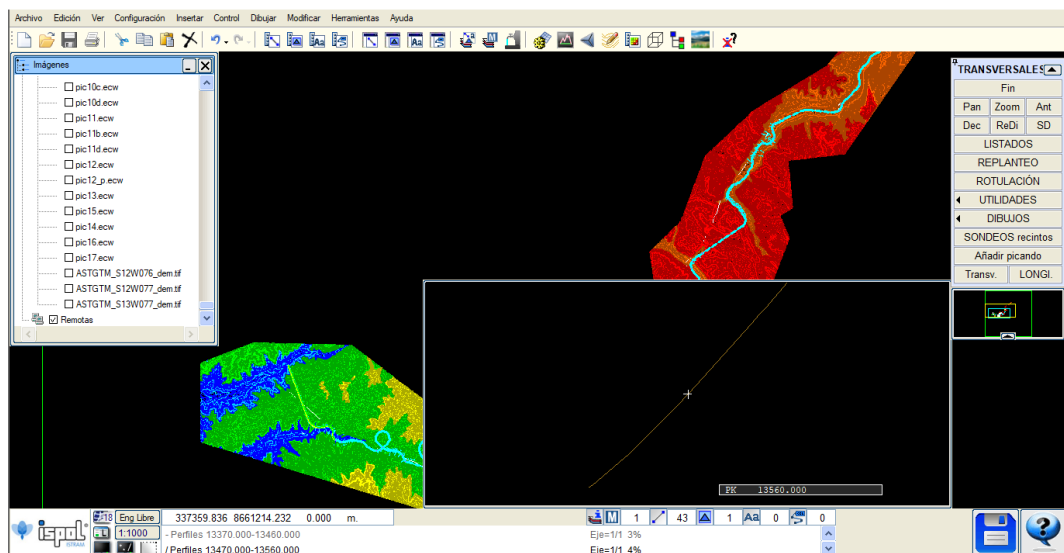


Figura N°5.13. Generación de secciones transversales.  
Elaboración propia

#### 5.1.4.6. Trazado en Alzado (Diseño Vertical)

Previamente a realizar el trazo del perfil longitudinal, con la ayuda de Google Earth se procedió a proyectar la línea del eje vial actual y del proyectado para tener un valor aproximado del perfil. El valor mínimo de la ruta actual que se obtiene es de 20.86‰ lo cual dificultaría el trazo en alzado, que, si bien se puede considerar el valor de 20‰ como parámetro permisible, sería bastante restrictivo el realizar un trazo con este valor. El alzado se realiza en la pestaña RASANTES.

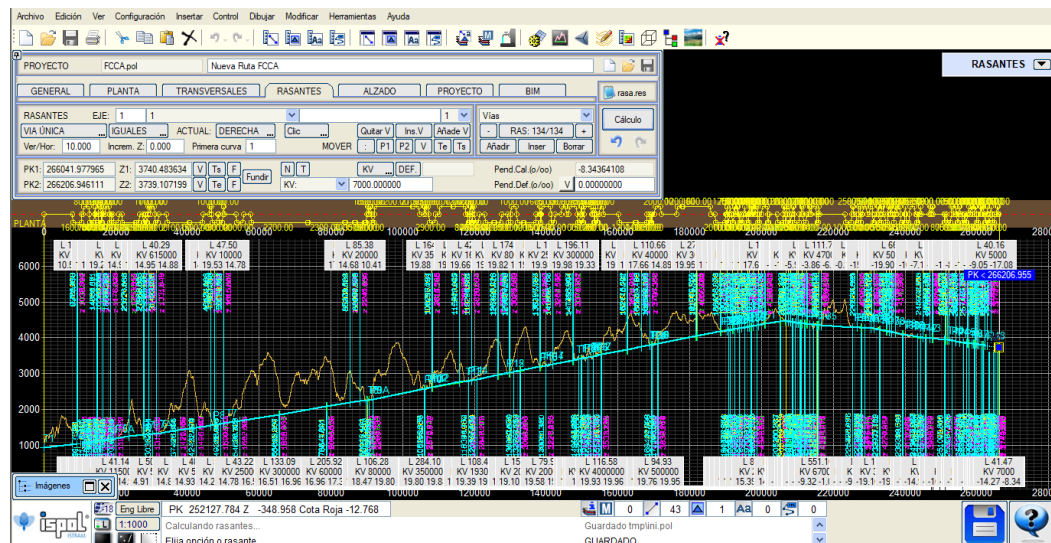


Figura N°5.14. Perfil longitudinal - Rasantes.  
Elaboración propia.

#### 5.1.4.7. Plataforma de la vía

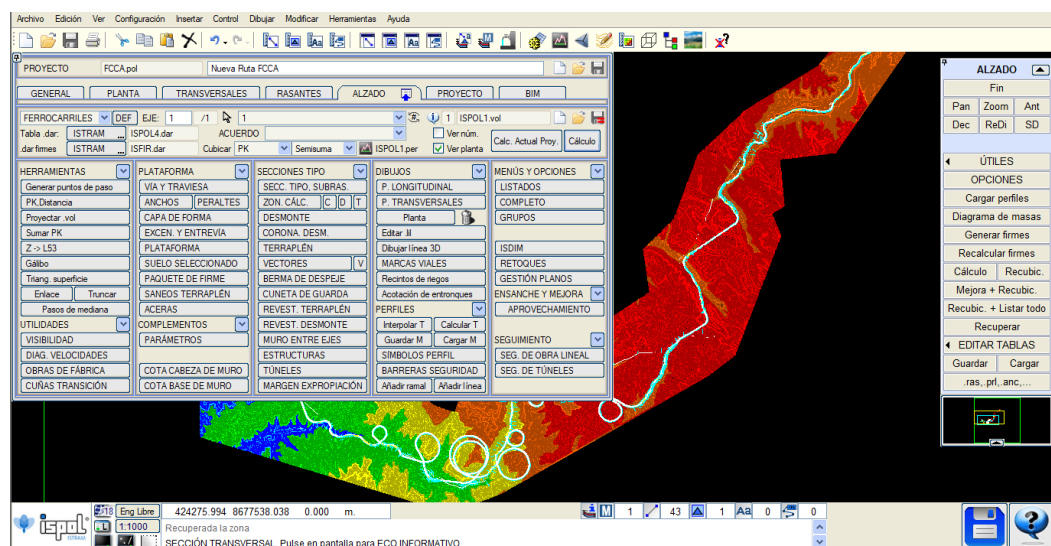


Figura N°5.15. Menú Alzado.  
Elaboración propia.

En el menú ALZADO (Figura N°5.15) se diseña la sección transversal de la vía del ferrocarril.

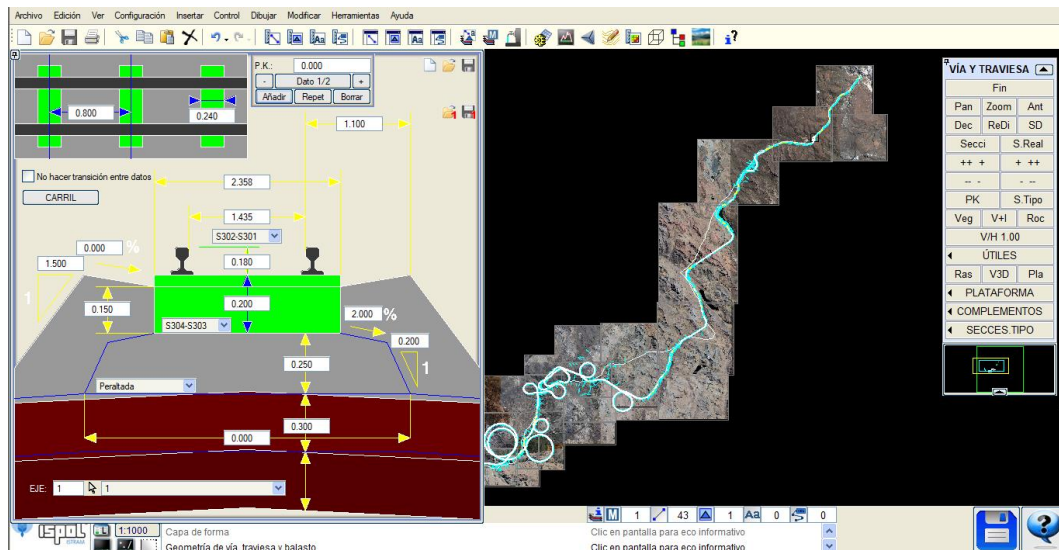


Figura N°5.16. Dimensionamiento de vía y traviesa.  
Elaboración propia.

Se define la sección para el eje creado, así mismo se define las dimensiones del tipo de vía y traviesa, espesor, los taludes y pendientes interiores para el balasto, espesor del subbalasto y peraltes. Ver Figura N°5.16 y Figura N°5.17.

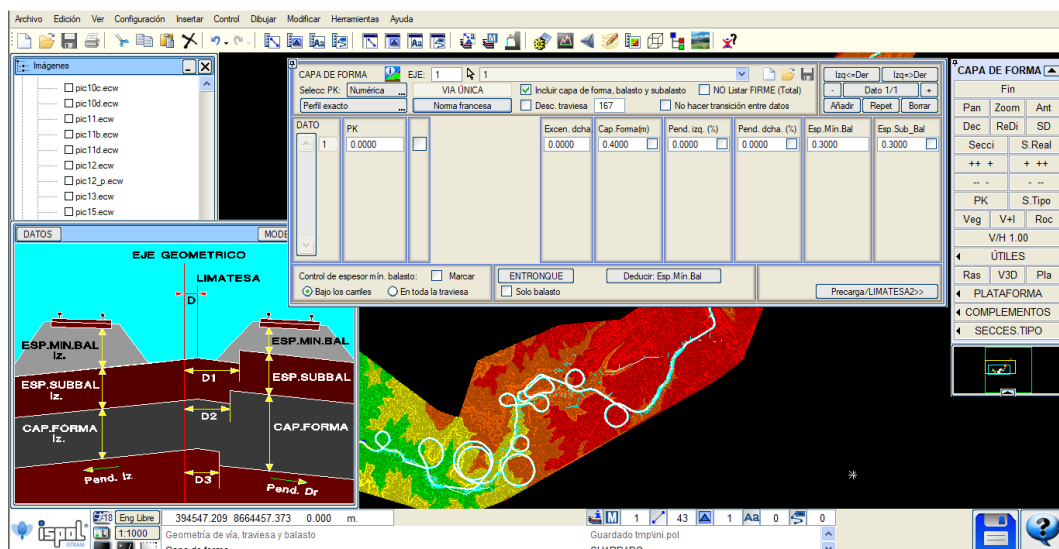


Figura N°5.17. Dimensionamiento de la capa de forma.  
Elaboración propia.

También, se configura la zona de desmonte (corte) y terraplén (relleno), esto se puede ver en el Anexo I.

Existen algunos métodos para determinar los espesores del balasto y subbalasto, teniendo en cuenta la carga máxima por eje del método de ADIF, o también para líneas de alta velocidad donde debe existir un espesor mínimo de 65 m. en la suma de ambos, esto depende de las obras complementarias que tendrá la vía férrea. Para el diseño se considera 0.30m para cada espesor. La capa de forma se considera 0.40 m. En la Figura N°5.18 se definen los diferentes anchos de la plataforma, el ancho de hombro según ADIF (2011) se considera 1.10 m.

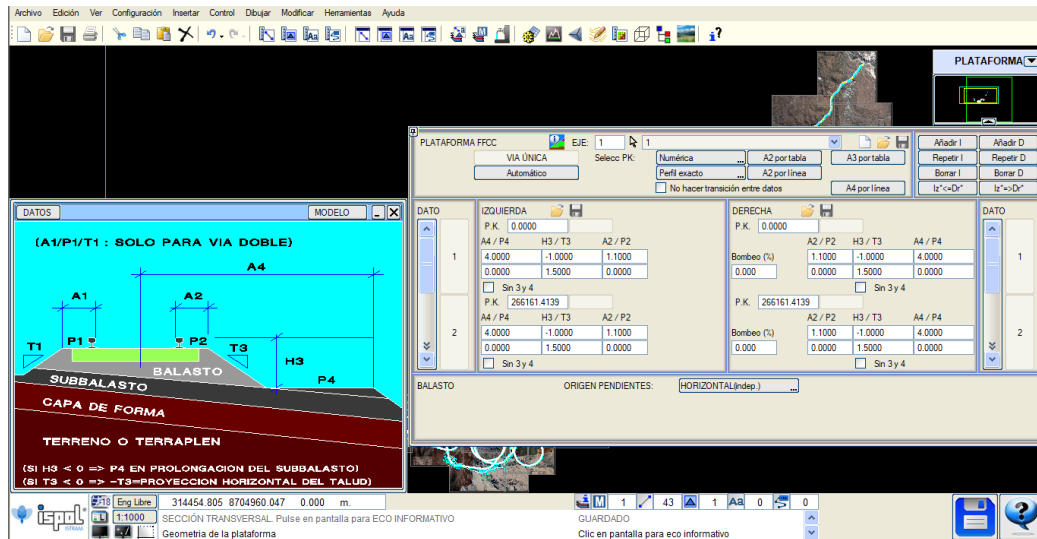


Figura N°5.18. Menú Plataforma.  
Elaboración propia.

La generación de pendientes también es automática. Ver Anexo K.

#### 5.1.4.8. Obras complementarias

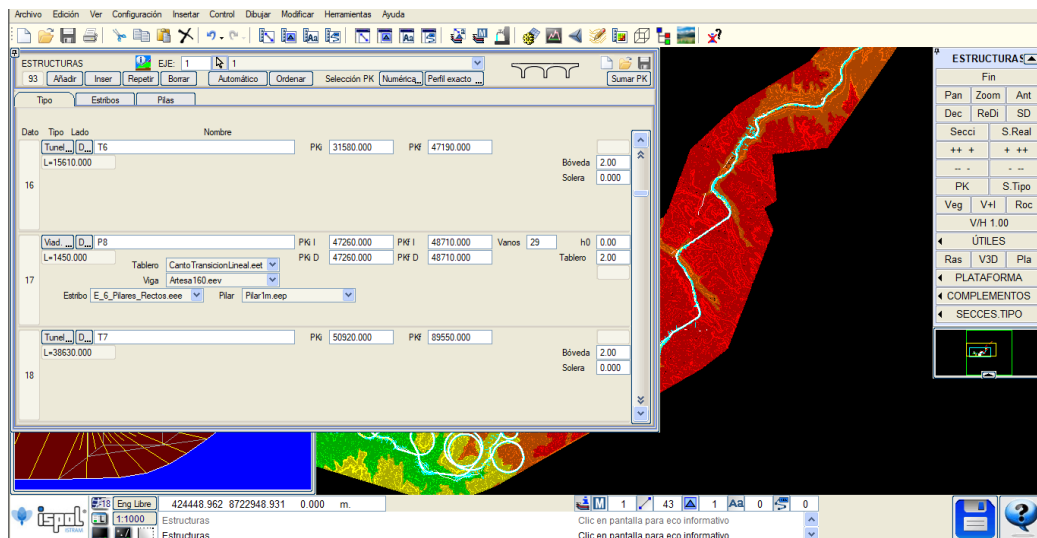


Figura N°5.19. Definición de túneles y puentes. Elaboración propia.

Las estructuras prediseñadas a lo largo del trazo conceptual fueron puentes, túneles rectos y helicoidales. Los puentes prediseñados forman parte Istram, se utilizaron vigas monocajón, pilares, etc.

Debido a la gran longitud del trazo y el tipo de relieve que se tiene, la cantidad de puentes y túneles del proyecto conceptual fueron 51 y 42 respectivamente.

El gálibo del túnel fue considerado con los valores por defecto que tiene el software. En la Figura N°5.20. Dimensión de túneles. se observa el dimensionamiento de túneles. Figura N°5.20. Dimensión de túneles.

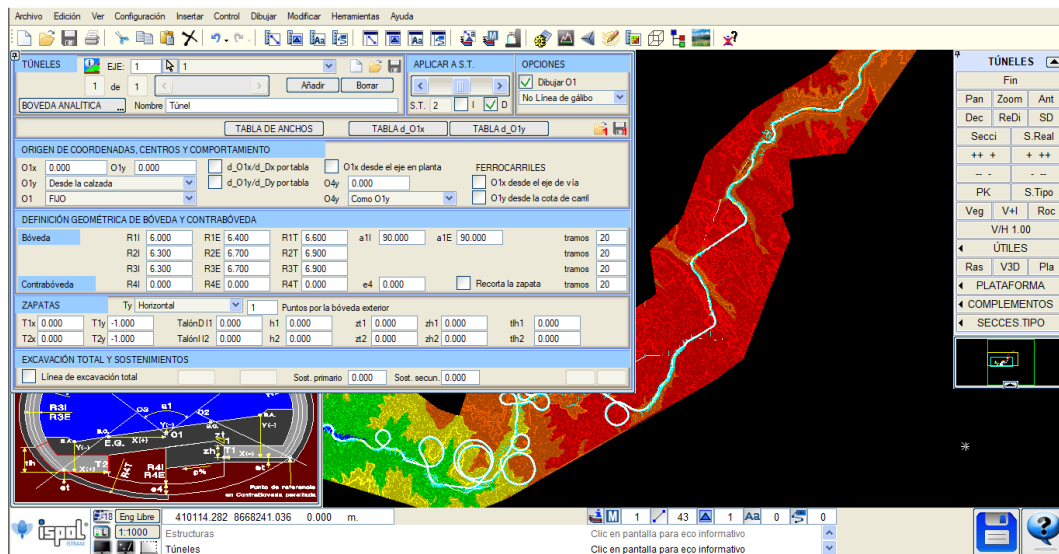


Figura N°5.20. Dimensión de túneles.  
Elaboración propia.

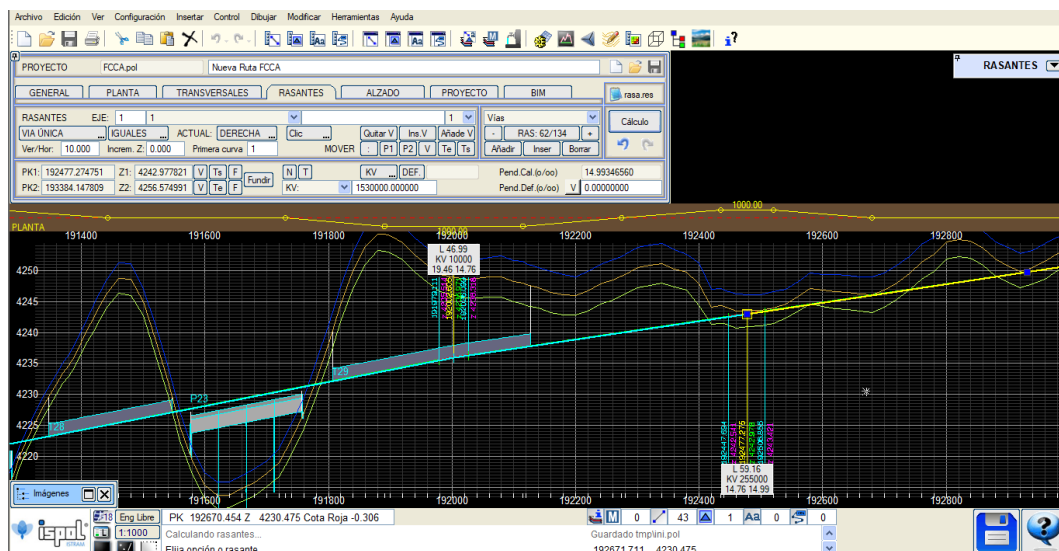


Figura N°5.21. Perfil de Obras complementarias.  
Elaboración propia.

En la imagen anterior, Figura N°5.21, se puede observar que Istram trabaja de manera interactiva creando dentro de RASANTE las obras definidas para la vía. Todos los parámetros considerados fueron ingresados de forma paramétrica.

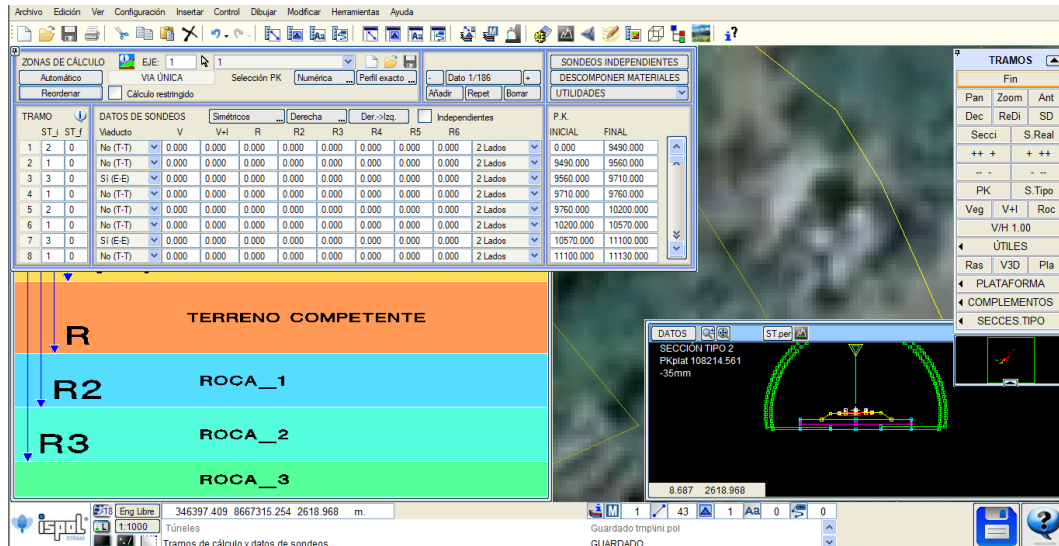


Figura N°5.22. Listado de estructuras complementarias.  
Elaboración propia.

En la Figura N°5.22 se observa que se crea una zona de tramos donde están incluidas todas las estructuras complementarias.

#### 5.1.4.9. Cálculos de proyecto

Se asocian plantillas de dibujo para los gráficos. Ver Anexo L.

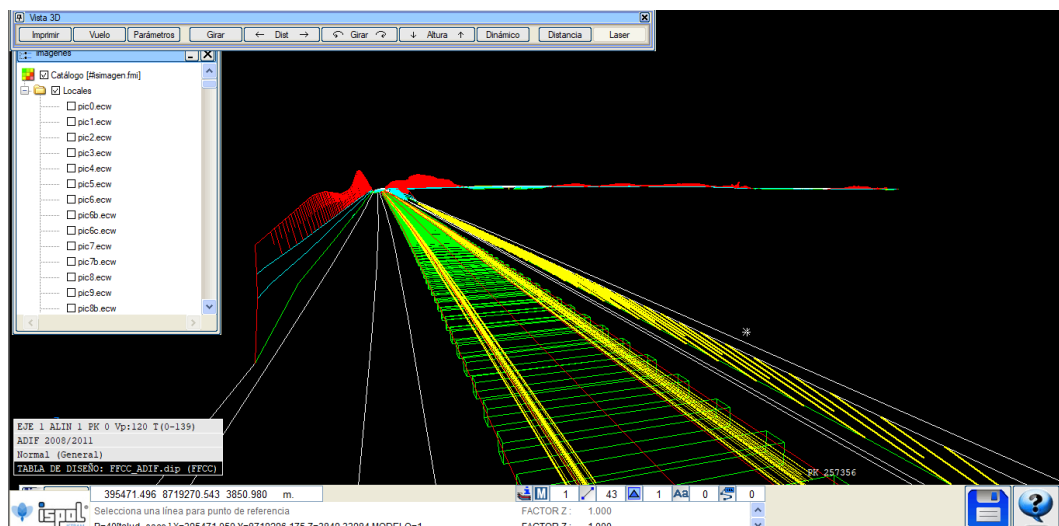


Figura N°5.23. Vista 3D - Vía férrea.  
Elaboración propia.

Luego de calcular el proyecto, también se genera vistas 3D donde se pueden ver los cortes, rellenos, la vía y traviesa que conforman la línea. Ver Figura N°5.23.

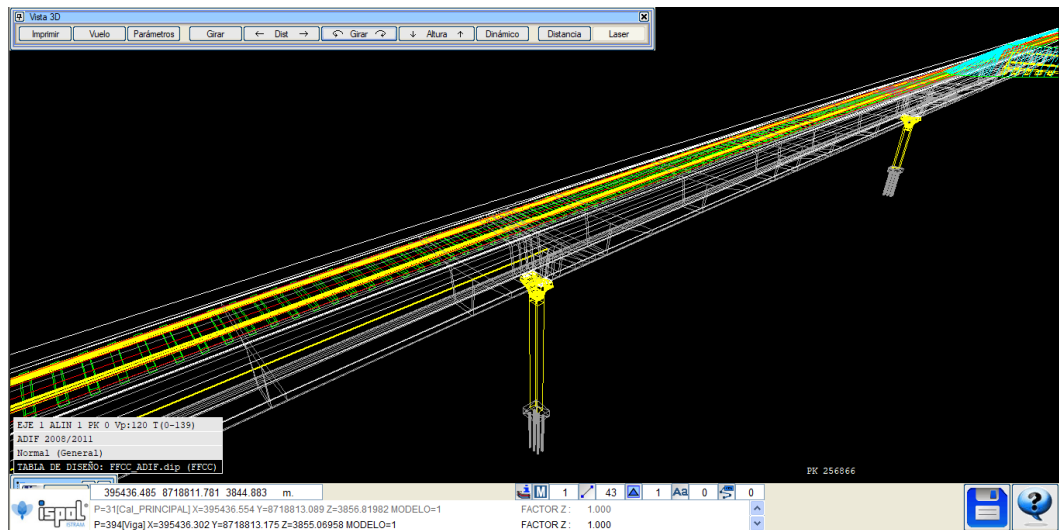


Figura N°5.24. Vista 3D - Puente vía férrea.  
Elaboración propia.

También se genera un conjunto de listados del trazado en alzado, perfil longitudinal y planos.

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN MODAL

La finalidad de este subcapítulo es analizar las características socioeconómicas, demográficas y las preferencias de modo entre el actual modo común (bus) frente a la alternativa hipotética de ferrocarril de pasajeros para los usuarios de transporte que se movilizan de Lima hacia la Sierra y Selva Central.

Los datos obtenidos para este estudio proceden de una encuesta realizada en setiembre del 2017. Las encuestas se realizaron en el terminal de Yerbateros y en el terminal de Plaza Norte.

Para presentar los resultados se realiza un análisis estadístico para la sección de preferencias reveladas, y la estimación de modelos logit para las encuestas de preferencias declaradas.

#### 6.1.1. Análisis estadístico de características socioeconómicas, demográficas y actitudes hacia un nuevo modo de transporte.

Para poder validar la encuesta se procedió a identificar los errores ajenos al muestreo y luego a depurar las encuestas. Entre los principales errores se encontraron encuestas en que la mayoría de preguntas estaban incompletas y de mala redacción.

También, de acuerdo a la teoría del comportamiento del consumidor, las preferencias declaradas deben cumplir con una serie de supuestos que permita expresarlas a través de una función de utilidad. Al no cumplirse los supuestos no sería adecuado plantear la función de utilidad a partir de las preferencias. Para verificar a los individuos que no declaran una estructura de preferencias que pueda representar una función de utilidad se realiza las pruebas de individuos cautivos, lexicográficos e inconsistentes. Proceso similar al realizado por Espino et al. (2004).

Se identificaron y eliminaron las encuestas de individuos cautivos, se conoce así a quienes son usuarios de un modo (en este caso bus) y eligieron el mismo modo de transporte en los nueve conjuntos de elección presentados. Adicional, se eliminaron las encuestas de los individuos lexicográficos (Sælensminde, 2006),

aquellos usuarios que siempre eligen el modo superior en algunas de sus variables independientes. El último análisis de individuos inconsistentes, para descartar encuestas, se trata de reglas lógicas que definan la consistencia en las elecciones realizadas por los usuarios. Si se presenta más de dos respuestas inconsistentes se eliminaba la encuesta del individuo.

De las 22 preguntas de la primera parte de la encuesta se eligieron 11 preguntas que caracterizan mejor a los usuarios. Terminado el proceso de depuración y selección de preguntas se realizó la explotación y las estimaciones correspondientes con la base de datos.

Primero se procedió a realizar la caracterización de los encuestados en base a estadística en una hoja de cálculo de Excel, luego se procedió con la estimación de un modelo logit binomial en el software R.

#### 6.1.1.1. Explotación de las encuestas

El número total de encuestas realizadas fue de 395 de las cuales se obtuvieron 306 encuestas válidas, los motivos de depuración de estas fueron que al revisar detalladamente las encuestas se excluyeron las realizadas a menores de 18 años y las encuestas que se descartaron de las pruebas mencionadas. En el Anexo M se muestra la base de datos codificada y explotada.

El número total de encuestas rechazadas de acuerdo a los errores ajenos al muestreo y encuestas incompletas fueron 44, que representan un 11.14% de total, y el número de encuestas depuradas en base a los supuestos de la teoría del consumidor fueron 45, que representan el 11.39% de total de encuestas realizadas. En la Tabla N°6.1 se muestra lo descrito.

Tabla N°6.1  
*Frecuencia de encuestas*

| Descripción             | Cantidad   | Porcentaje     |
|-------------------------|------------|----------------|
| Encuestas válidas       | 306        | 77.47%         |
| Encuestas con errores   | 44         | 11.14%         |
| Encuestas sin supuestos | 45         | 11.39%         |
| <b>Total</b>            | <b>395</b> | <b>100.00%</b> |

Elaboración propia.

La presentación de resultados estadísticos se realiza de manera absoluta, y relativa.

Se analizaron los datos de tal manera que se pueda caracterizar los individuos encuestados de la muestra y esta refleje al segmento que viaja.

En lo que se refiere a características personales se observa que el espectro de edades es heterogéneo. Hay una gran cantidad de usuarios entre 27 y 35 años, que representan el 31.70% de usuarios que viajan.

Las personas de edad senil, mayores a 63 años (considerado los intervalos de clase) representan el 4.58% de la muestra, ellos mayormente viajan por salud y visita. De acuerdo a la data obtenida se tiene una media muestral de 37.3.

Otro grupo importante de usuarios se encuentran entre 18 y 26 años que representan el 22.88% de la muestra, tal como muestra la Figura N°6.2.

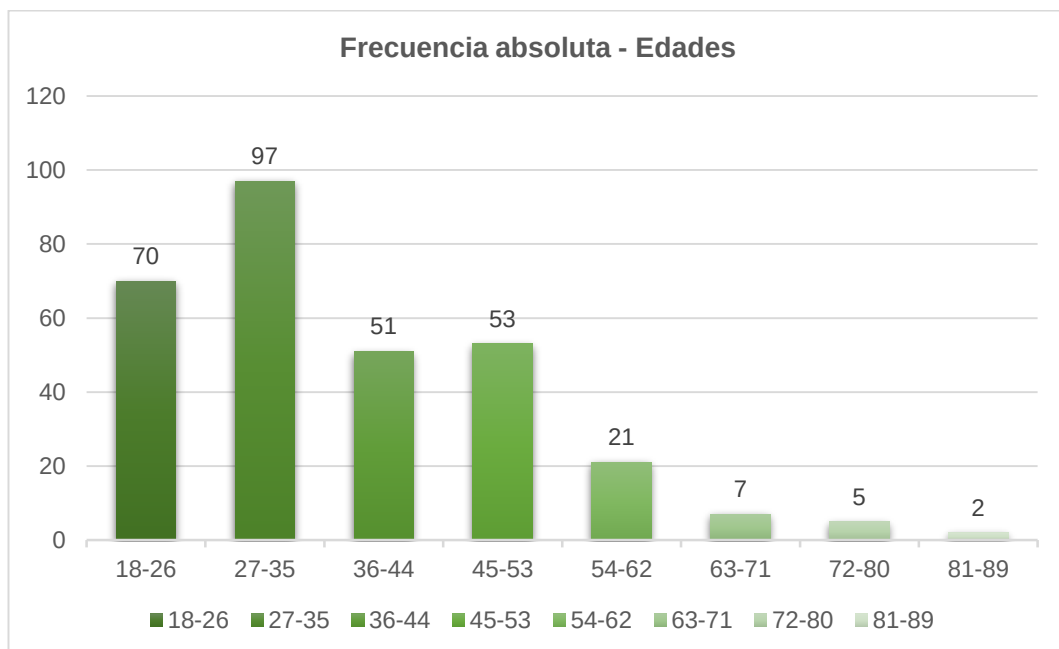


Figura N°6.1. Frecuencia absoluta de edades.  
Elaboración propia.

Se definió como población objetivo las personas con una edad mínima de 18 años, debido a que se pueden considerar como consumidores que tiene acceso a un ingreso salarial, que puede realizar viajes de manera independiente y decidir sobre sus preferencias. Es por este motivo que no se tiene personas menores de 18 años en los intervalos de edades.

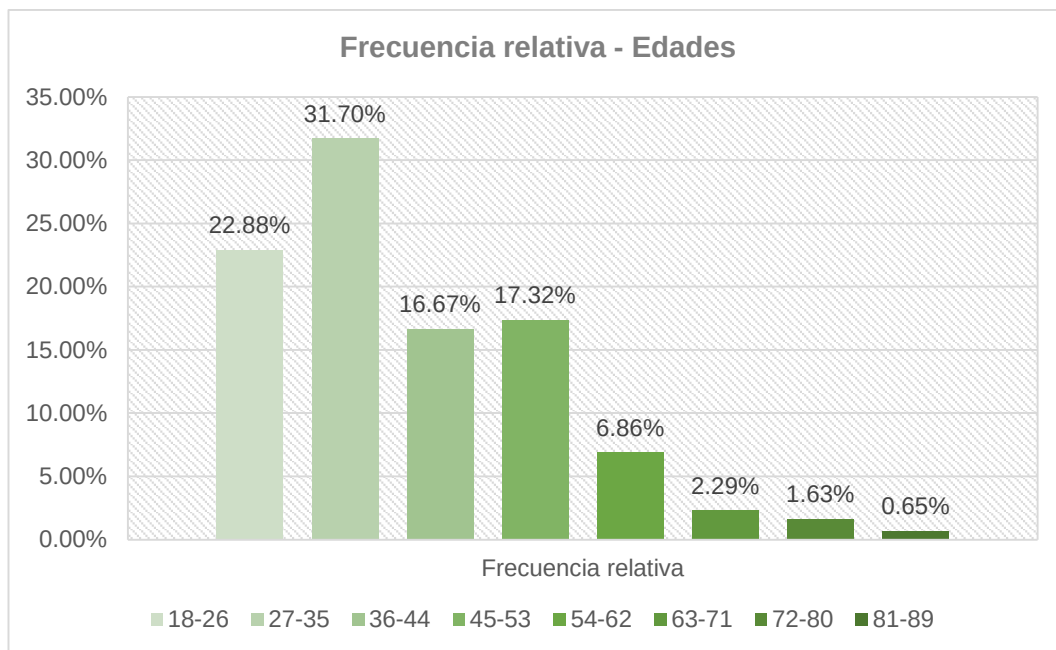


Figura N°6.2. Frecuencia relativa de edades.  
Elaboración propia.

En cuanto al sexo se ha conseguido una representación con poca diferencia entre hombres y mujeres. En la Figura N°6.4 se muestra que el 57.2% son hombres y el 42.8% son mujeres. Los valores representan la actividad de ambos a ser viajeros hacia la región Centro Oriente.

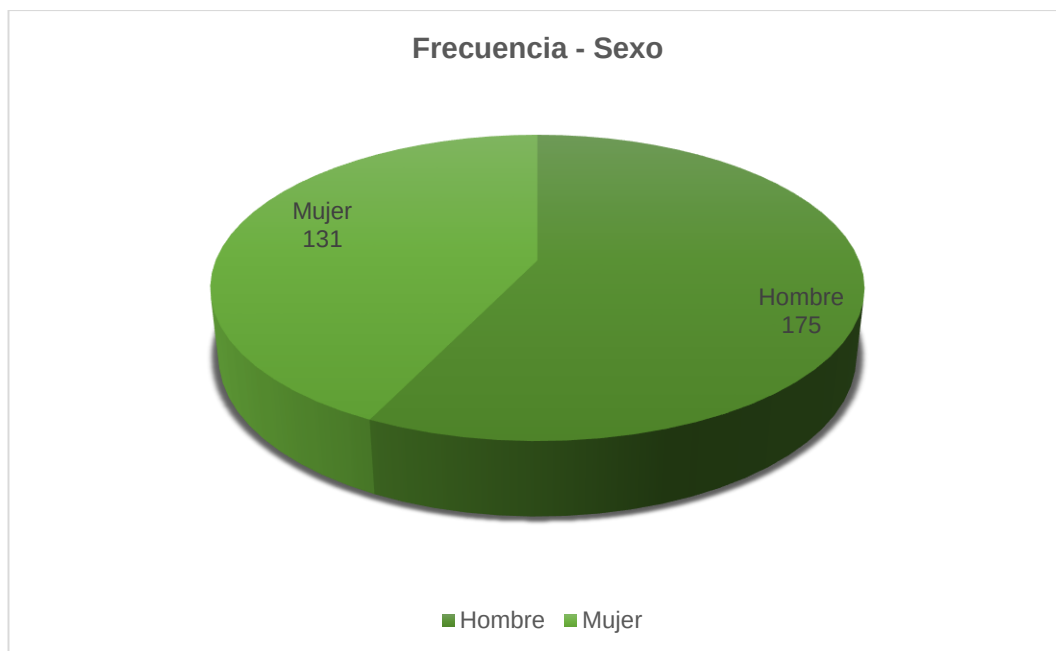


Figura N°6.3. Frecuencia absoluta de sexo.  
Elaboración propia.

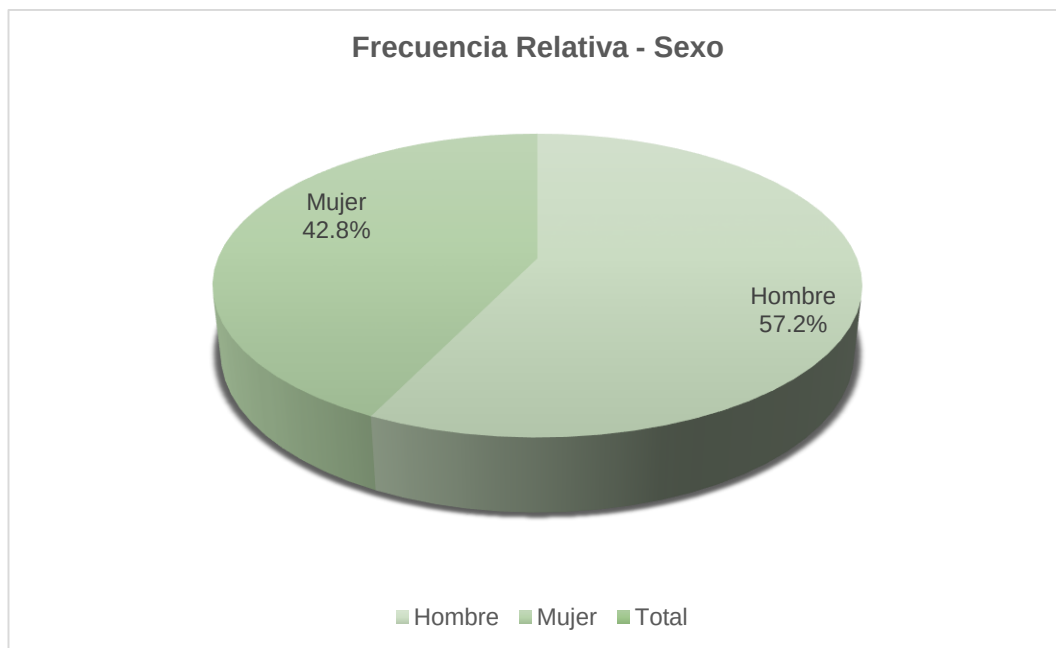


Figura N°6.4. Frecuencia relativa de sexo.  
Elaboración propia.

En cuanto a la ocupación actual, las personas que respondieron las encuestas son en mayoría empleados y trabajadores independientes, 33.66% y 22.55% respectivamente. Esto demuestra que hay una gran cantidad de personas que se encuentran en actividad productiva y se movilizan de Lima hacia la Sierra y Selva Central (lo cual no todos se movilizan por motivos de trabajo), en total, según se puede ver, representan el 61.44%, incluyendo los empleados a tiempo parcial. También se puede observar en los gráficos que el 15.36% de la muestra es conformado por estudiantes.

El número de personas cuya ocupación es el hogar tiene una participación del 12.75%. Entre jubilados, personas sin ocupación y quienes declararon otro tipo de actividad representan el 8.82%.

Fueron pocos los encuestados que no brindaron información respecto a su ocupación, en total 5 usuarios, que representan el 1.63% de las encuestas válidas.

En la Figura N°6.5 y la Figura N°6.6 se muestra lo descrito en los párrafos anteriores.

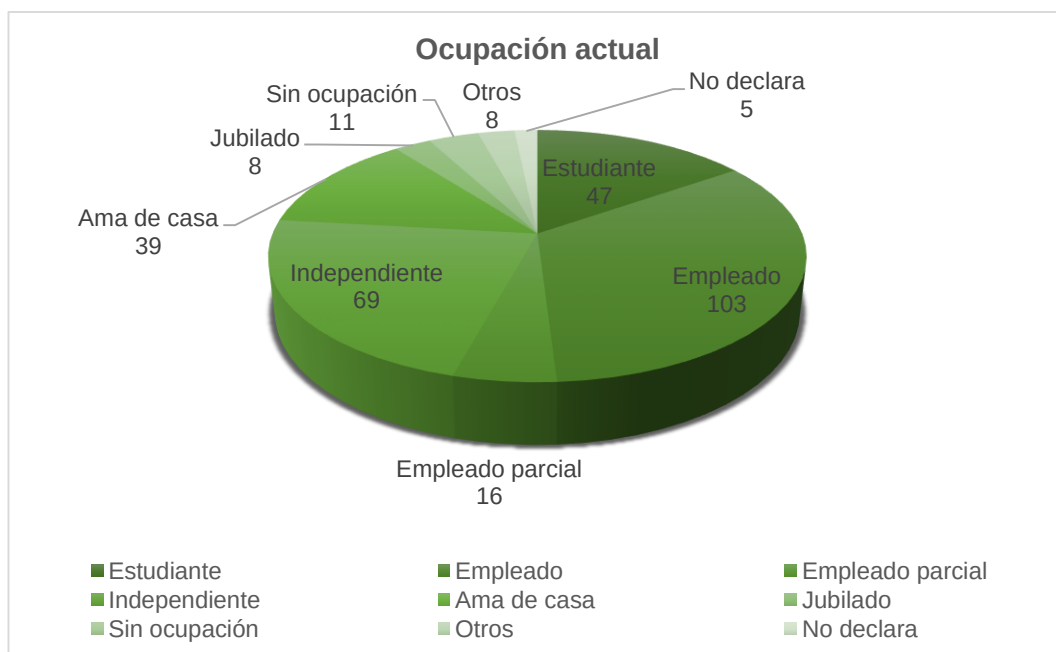


Figura N°6.5. Frecuencia absoluta de caracterización según ocupación actual.  
Elaboración propia.

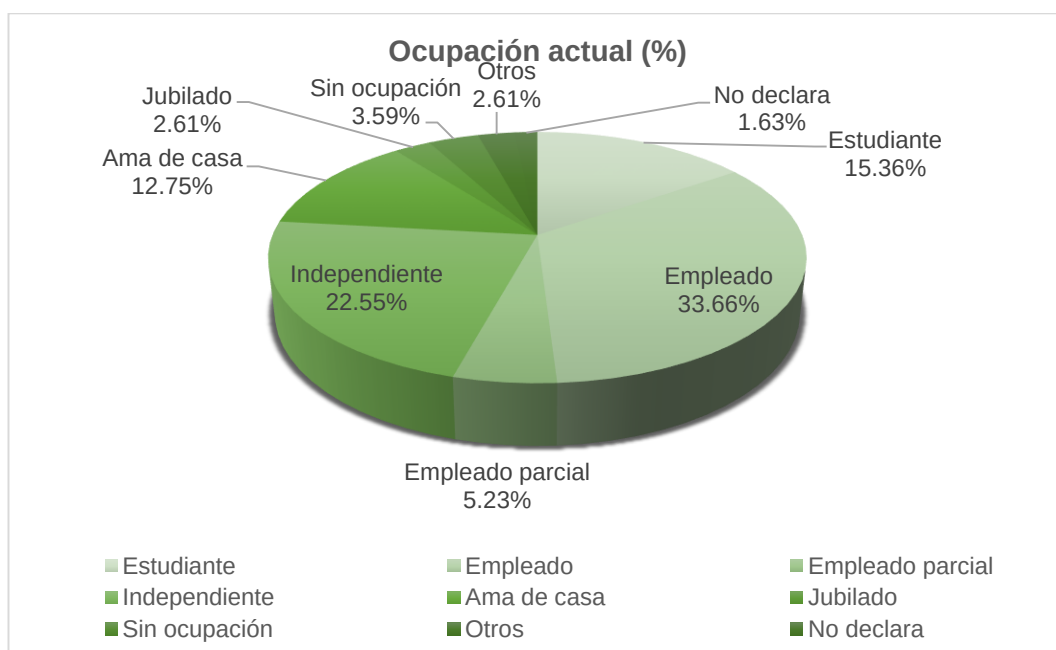


Figura N°6.6. Frecuencia relativa de caracterización según ocupación actual.  
Elaboración propia.

Las personas que participaron de la encuesta tienen un grado académico muy variado, el 32.68% de los encuestados manifestaron tener estudios secundarios completos, representan el porcentaje más alto dentro de esta variable de nivel socioeconómico, de estos declararon que los motivos de viaje eran diversos.

Los encuestados que declararon haber tenido entre estudios de posgrado, universitario y técnicos tienen una participación del 59.15%. Las personas que tienen estudios primarios y otros representan el 2.29%, y el 0.98% fueron no declararon su nivel de estudios. Ver Figura N°6.7 y Figura N°6.8.

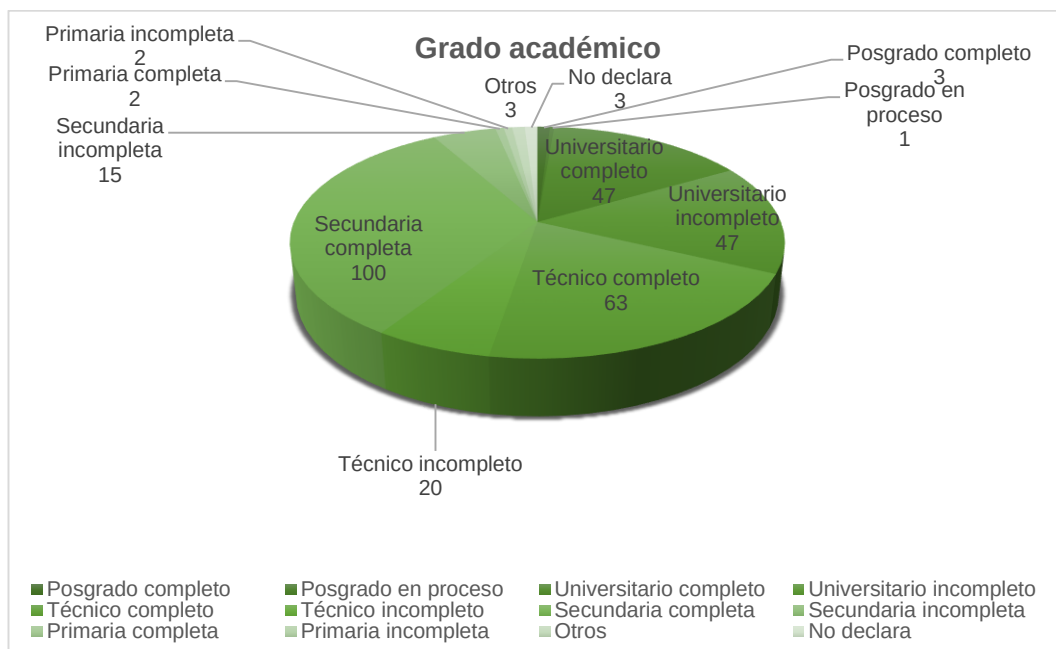


Figura N°6.7. Frecuencia absoluta de caracterización según grado académico.  
Elaboración propia.

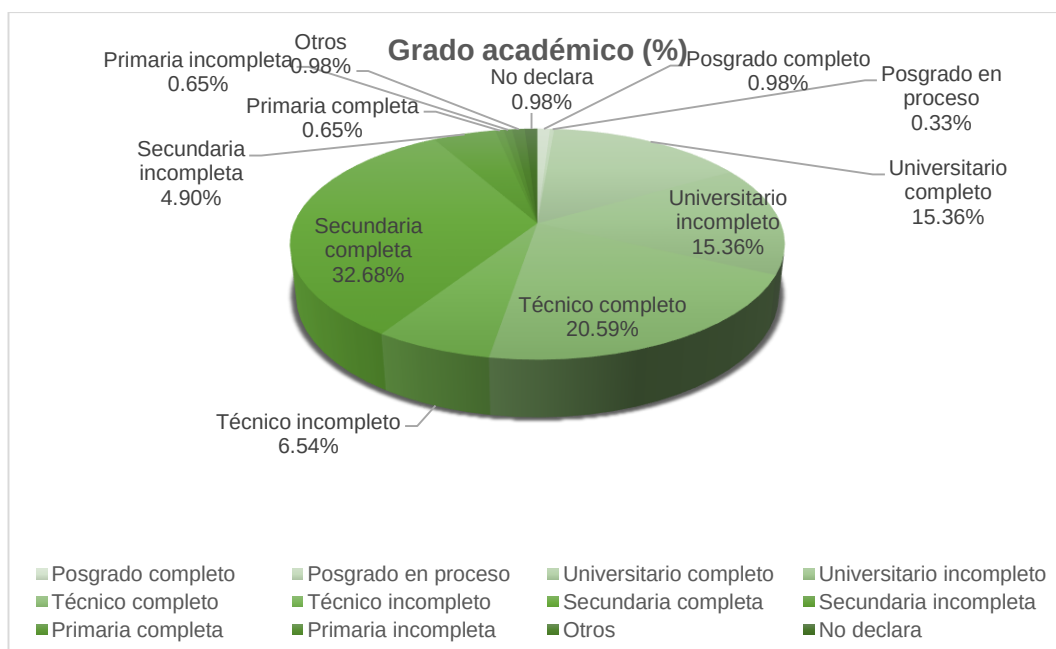


Figura N°6.8. Frecuencia relativa de caracterización según grado académico.  
Elaboración propia.

Dentro de los tres principales motivos de viaje se observa que la gran parte de los encuestados viajan por visita que representan 44.44% de la muestra, por trabajo que representan el 20.92% y por turismo que representa 13.40%. Hay gran actividad en estas características de las personas. Ver Figura N°6.10.

También existe un 8.54% de usuarios encuestados que viajan por motivo de salud, los que viajan por motivo de estudio representan el 5.56% y por turismo que representa 13.40%.

Si bien es cierto que hay una buena participación de encuestados que trabajan, no todos viajan por el motivo mencionado, tal como se menciona en la descripción de ocupación actual.

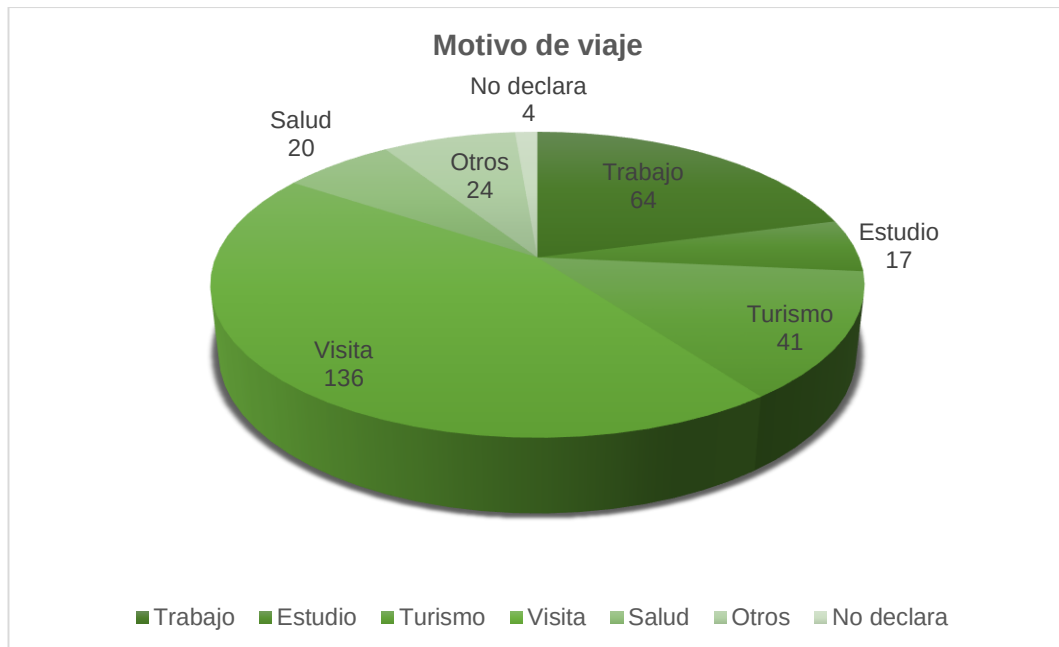


Figura N°6.9. Frecuencia absoluta de caracterización según motivo de viaje.  
Elaboración propia.

La caracterización con respecto al nivel de ingreso mensual que tiene cada usuario se hizo por intervalos, como se manifestó, esto debido a que se tiene referencias de estudios realizados como en el Manual de Encuestas de Preferencias Declaradas (Ibeas et al., 2015), muchas personas presentan cierta reticencia a declarar sus ingresos. Gran parte de los encuestados gana entre S/ 1000.00 y S/ 2000.00 nuevos soles, esto representa el 40.85% de total. Ver Figura N°6.11 y Figura N°6.12.

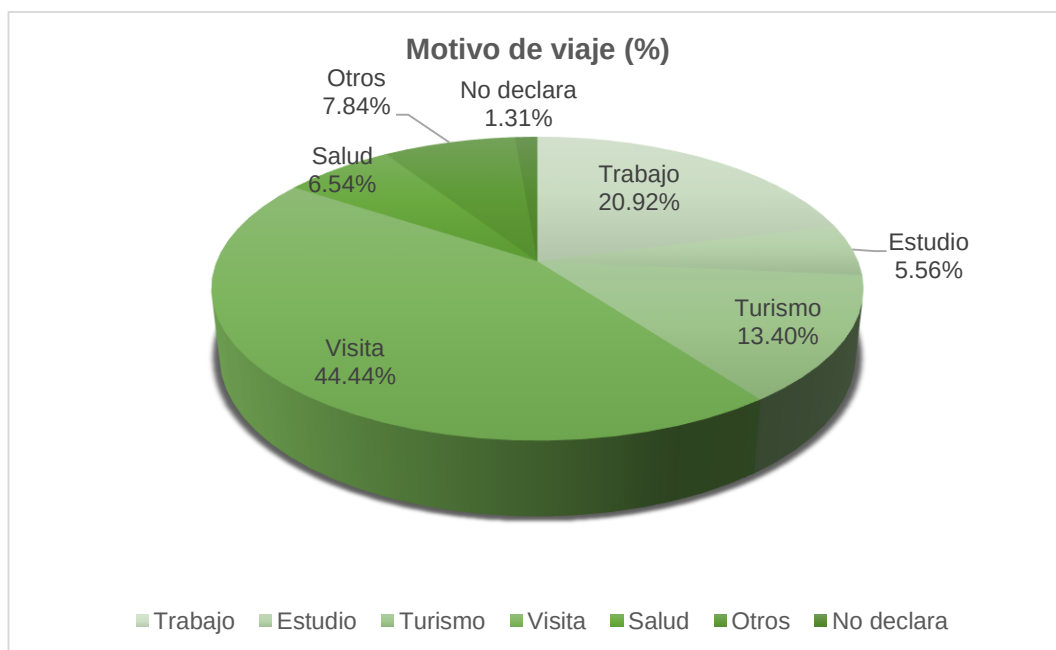


Figura N°6.10. Frecuencia relativa de caracterización según motivo de viaje.  
Elaboración propia.

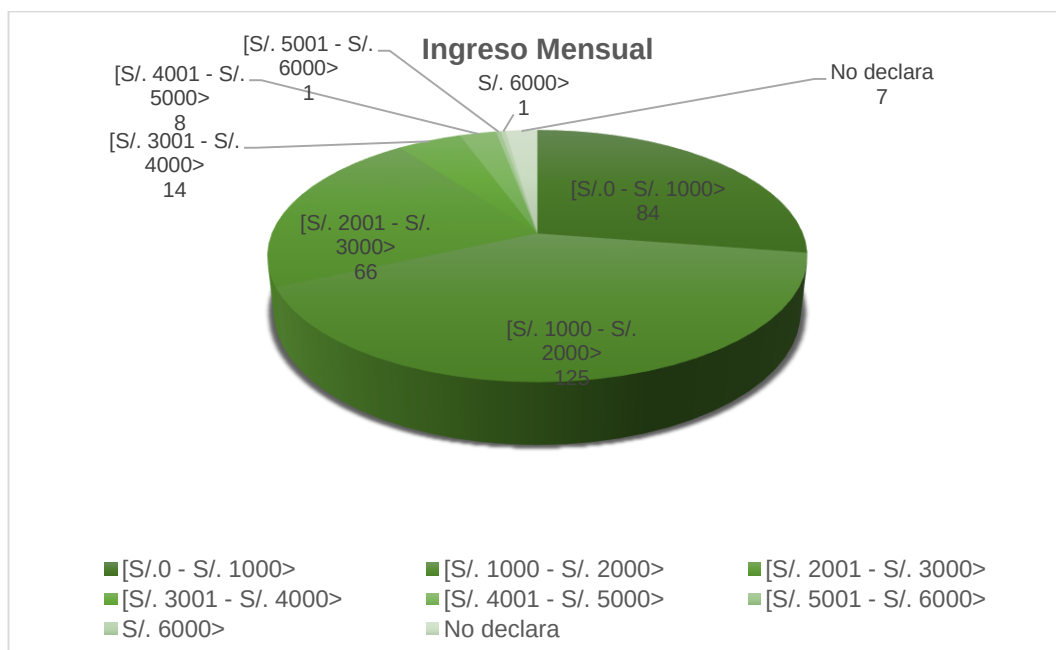


Figura N°6.11. Frecuencia absoluta de caracterización de ingreso mensual.  
Elaboración propia.

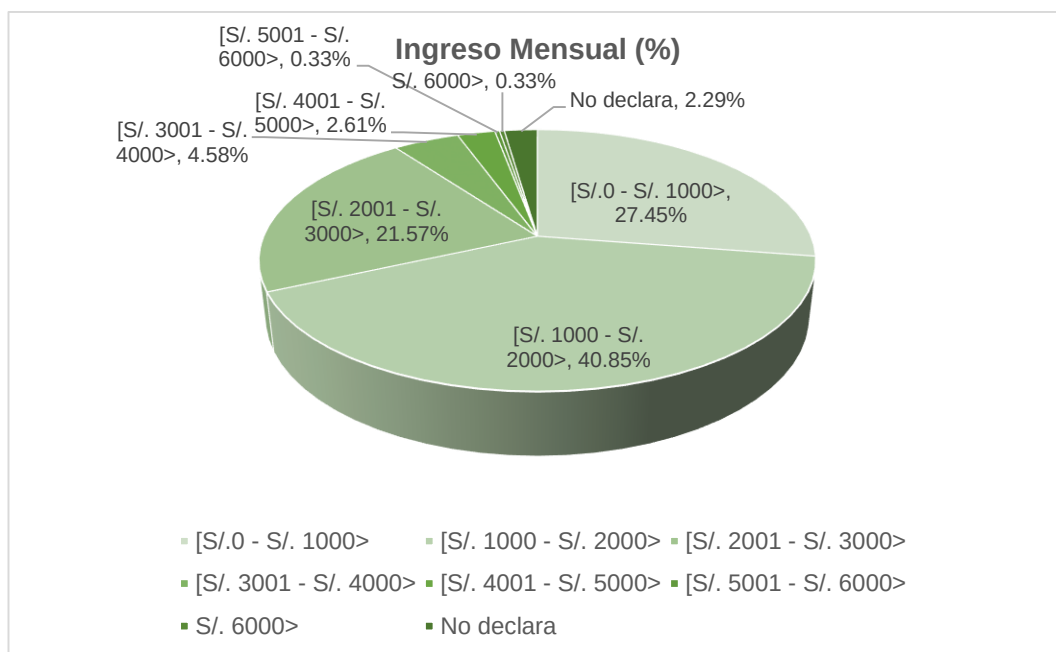


Figura N°6.12. Frecuencia relativa de caracterización según ingreso mensual.  
Elaboración propia.

También se realizó dentro de la encuesta preguntas en escalas semánticas, estas dan la posibilidad de conocer el grado de satisfacción o atractivo de los encuestados sobre el modo ferroviario.

En la pregunta 17 se utilizó la frase: “El ferrocarril como modo de transporte masivo, seguro y rápido”, la cual tiene gran aceptación por parte de los encuestados; esta expresión no escapa de la realidad, porque refleja parte de la sostenibilidad para este tipo de infraestructura. El 25.49% de la muestra calificó la expresión como “muy buena”, el 48.69% calificó la expresión como “buena”, el 22.22% calificó la expresión como “regular”, el 2.61% calificó como mala, mientras que el 0.65% calificó la expresión como “muy mala” y el 0.33% no declaró. Ver Figura N°6.13 y Figura N°6.14.

También, dentro del cuestionario, en la pregunta 18, se les consultó a los encuestados, en una escala semántica, si utilizaría el ferrocarril como modo de transporte, esto se relaciona con las preguntas de elección de las preferencias declaradas. El 28.34% de la muestra estaría “totalmente de acuerdo” con usar este modo alternativo. El 45.75% declaró estar “de acuerdo” con el uso del ferrocarril. El 22.55% de la muestra declaró estar “ni en acuerdo ni en desacuerdo”. El 1.96% declaró estar “en desacuerdo”, el 0.65% declara estar “totalmente en

desacuerdo”. Son pocos los usuarios cautivos del modo bus. Ver Figura N°6.15 y Figura N°6.16.

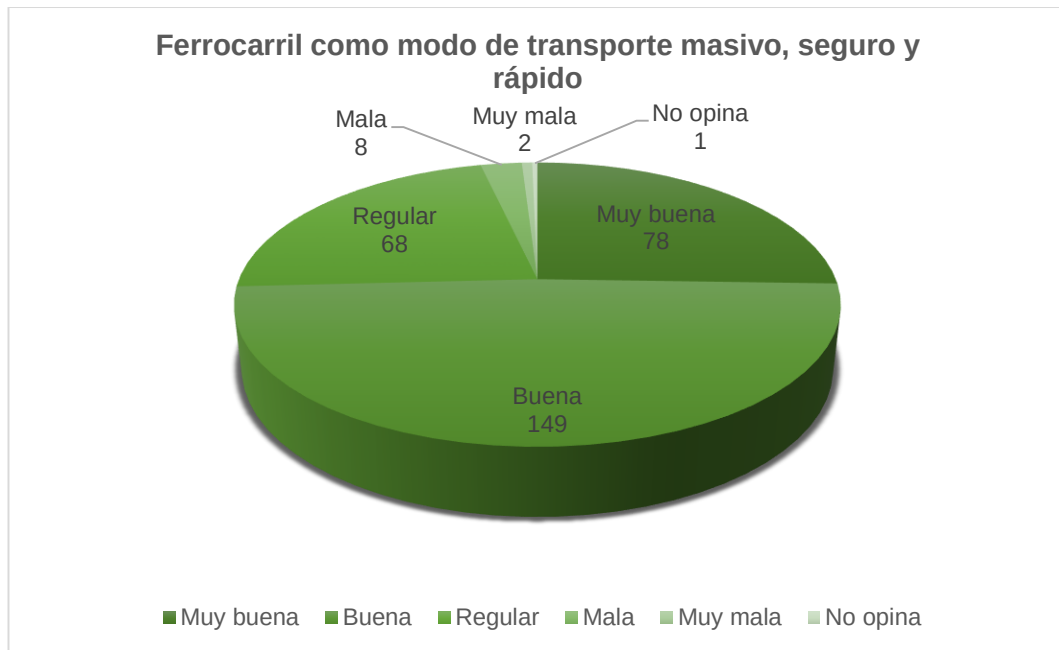


Figura N°6.13. Frecuencia absoluta de calificación sobre la frase “El ferrocarril como modo de transporte, seguro y rápido.  
Elaboración propia.

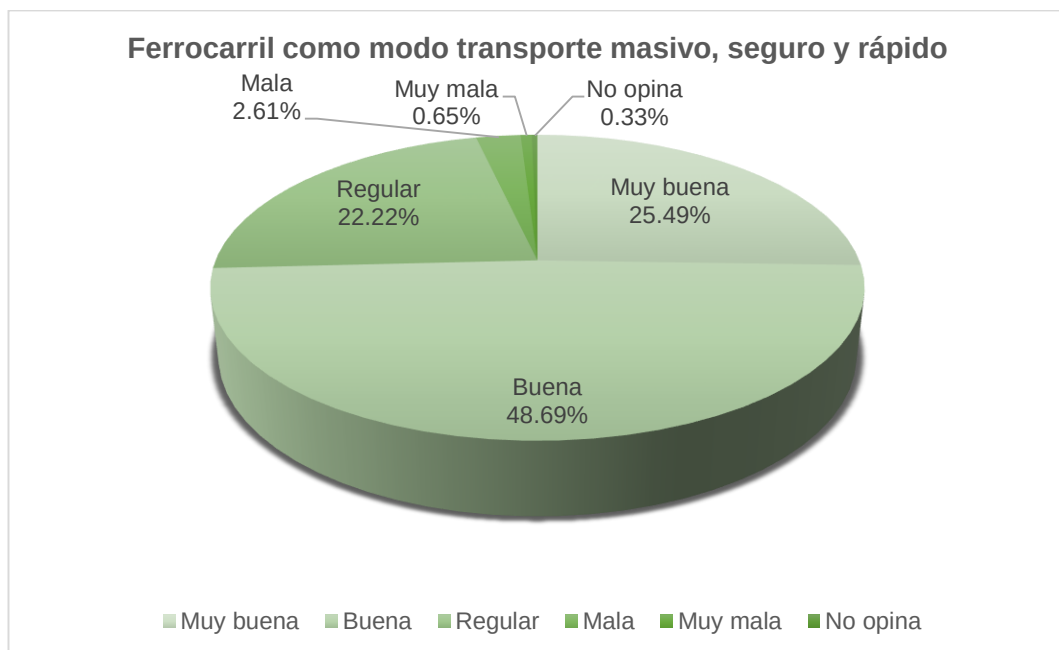


Figura N°6.14. Porcentajes de calificación sobre la frase “El ferrocarril como modo de transporte, seguro y rápido.  
Elaboración propia.

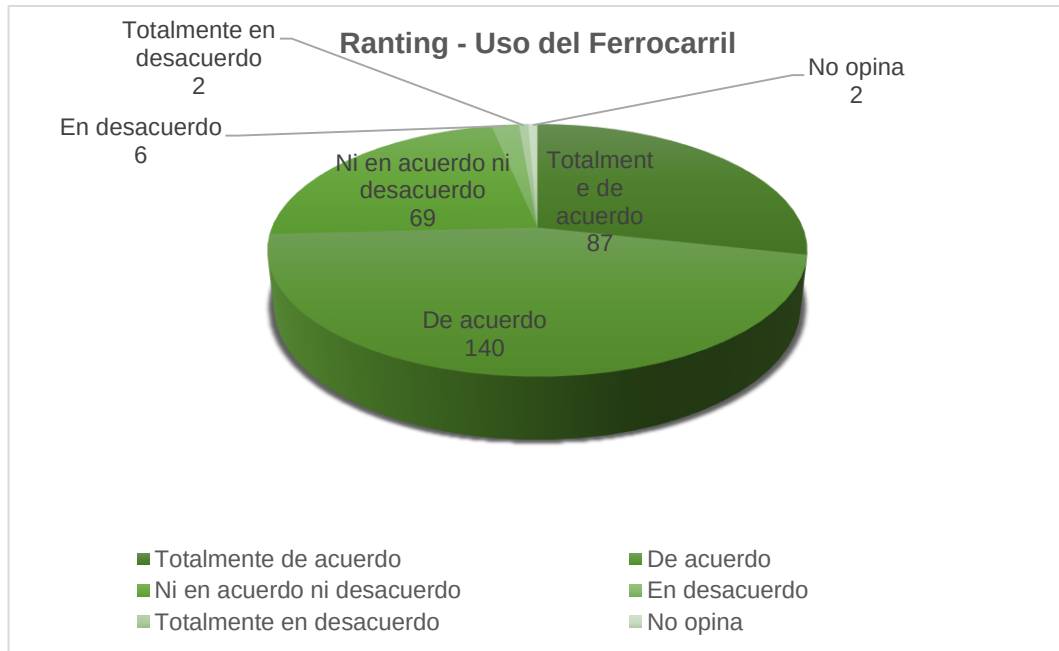


Figura N°6.15. Frecuencia absoluta de calificación sobre uso del ferrocarril.  
Elaboración propia.

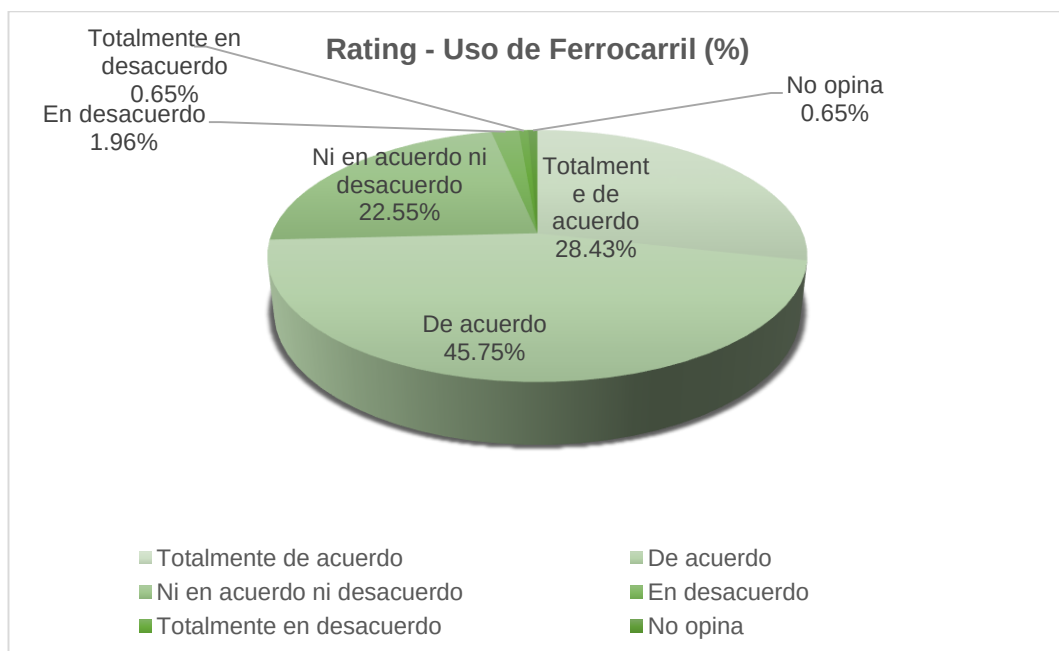


Figura N°6.16. Porcentajes de calificación sobre el uso del ferrocarril.  
Elaboración propia.

Una de las preguntas adicionales era calificar la seguridad en un modo de transporte, y como era de esperarse gran parte de la muestra declaró como “muy importante” e “importante” esta pregunta. Ver Figura N°6.17 y Figura N°6.18.

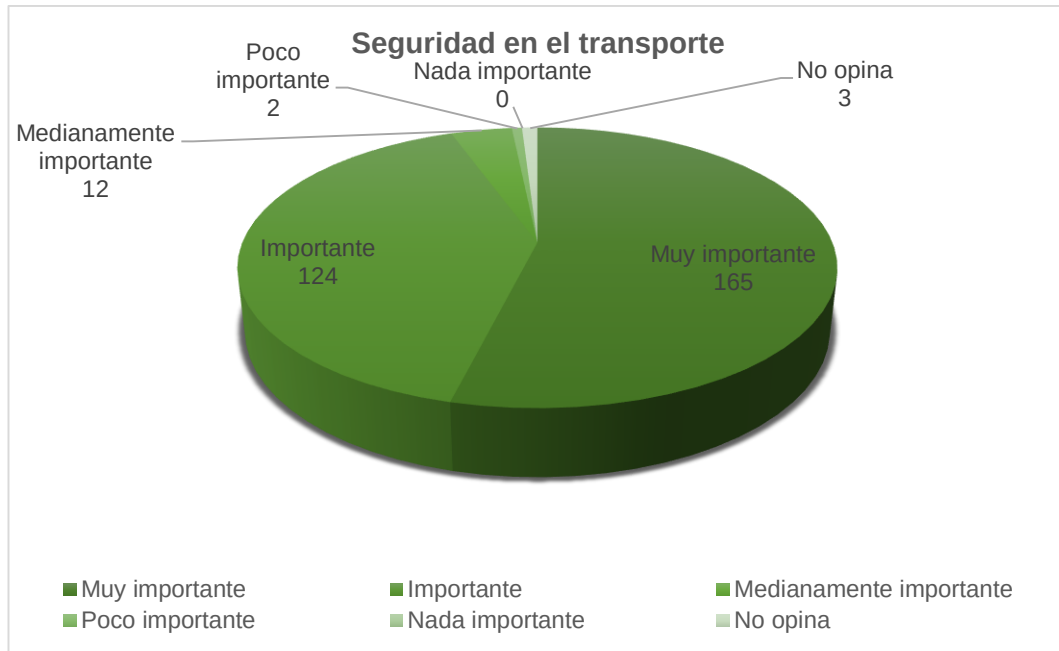


Figura N°6.17. Frecuencia absoluta de sobre la seguridad en el transporte.  
Elaboración propia.

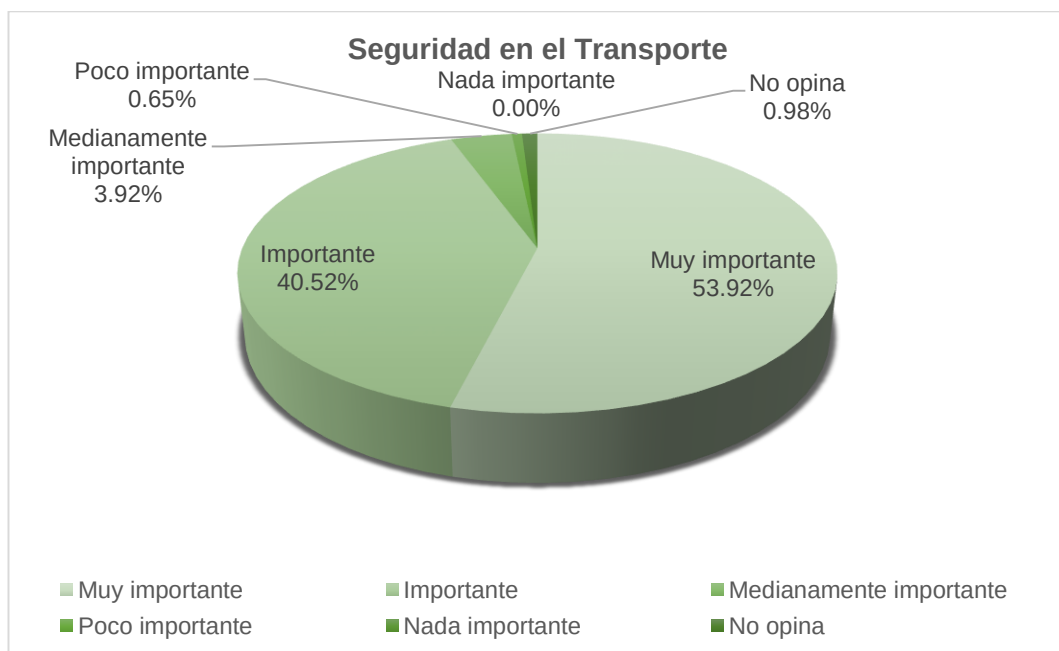


Figura N°6.18. Frecuencia relativa de sobre la seguridad en el transporte.  
Elaboración propia.

Como se indicó al inicio del capítulo algunos usuarios no declararon varias preguntas de la primera parte de la encuesta, estas se pudieron considerar como encuestas con errores ajenos al muestreo, sin embargo, gran parte de las

preguntas fueron contestadas, y estas proporcionaron información valiosa para la parte estadística y estimación del modelo logit.

#### 6.1.2. Estimación del modelo logit binomial

Se presenta en esta sección los resultados obtenidos de la estimación de los modelos de elección discreta y ajuste de las funciones de utilidad de los usuarios de los modos ferrocarril y bus para viajar desde Lima a la Sierra y Selva Central. En el modelo estimado la variable dependiente es la elección de modo de transporte elegida por los encuestados. Las funciones de utilidad son las siguientes:

$$V_{rail} = ASC_{rail} + \beta_1 * CO_{rail} + \beta_2 * TV_{rail} + \beta_3 * COM_{rail}$$

$$V_{bus} = \beta_1 * CO_{bus} + \beta_2 * TV_{bus} + \beta_3 * COM_{bus}$$

Se estimaron dos modelos con los datos de preferencias declaradas, esto para buscar el más adecuado. Las estimaciones por el método de máxima verosimilitud se realizaron en el lenguaje de programación R. Ver Anexo N.

La Tabla N°6.2 muestra los resultados de estimar el modelo logit binomial MNL1, para los datos de preferencias declaradas de viajes a Huancayo.

Tabla N°6.2  
MNL1

| Variable                             | Parámetro           | Coefficiente estimado | Std. Error | z-value | Pr(> z )   |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------|---------|------------|
| Constante                            | ASC <sub>rail</sub> | 0.9871480             | 0.2275356  | 4.3384  | 0.00001435 |
| Costo                                | $\beta_1$           | 0.0257374             | 0.0012139  | 21.2029 | 2.2E-16    |
| Tiempo                               | $\beta_2$           | 0.0841773             | 0.0336867  | 2.4988  | 0.01246    |
| Confort                              | $\beta_3$           | -0.5187456            | 0.0998671  | -5.1944 | 2.054E-07  |
| Log-Verosimilitud                    |                     | -1624.6               |            |         |            |
| McFadden R <sup>2</sup> ( $\rho^2$ ) |                     | 0.14326               |            |         |            |
| Likelihood ratio test                |                     | 543.30                |            |         |            |

Estimación del modelo logit en R. Elaboración propia.

El modelo MNL1 fue estimado considerando 306 encuestas de la base de datos, éstas son las encuestas validadas y explotadas para la caracterización de la muestra.

Tabla N°6.3  
MNL2

| Variable                             | Parámetro | Coefficiente estimado | Std. Error | z-value | Pr(> z )  |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------|------------|---------|-----------|
| Constante                            | ASCrail   | 1.0801140             | 0.207358   | 5.2089  | 1.899E-07 |
| Costo                                | $\beta_1$ | 0.0211130             | 0.001084   | 19.4765 | 2.2E-16   |
| Tiempo                               | $\beta_2$ | 0.0752470             | 0.030165   | 2.4945  | 0.01261   |
| Confort                              | $\beta_3$ | -0.5187456            | 0.083758   | -5.5997 | 2.054E-07 |
| Log-Verosimilitud                    |           | -1899.1               |            |         |           |
| McFadden R <sup>2</sup> ( $\rho^2$ ) |           | 0.10575               |            |         |           |
| Likelihood ratio test                |           | 449.140               |            |         |           |

Estimación del modelo logit en R. Elaboración propia.

Los signos obtenidos de los coeficientes de las variables costo, tiempo y confort en R fueron contrarios a los esperados debido a que se utilizó un argumento de oposición, en realidad los signos coinciden con los esperados. El intercepto que es la constante modal tuvo el signo positivo esperado. Las pruebas estadísticas fueron adecuadas.

El modelo MNL2 fue estimado no descartando los supuestos de la teoría del consumidor. Para esta estimación se obtuvo 352 observaciones. Ver Tabla N°6.3.

Con respecto a los valores de Log-Verosimilitud, se obtiene que el MNL1 es mejor que el MNL2 porque está más cerca a cero.

Los valores del parámetro bondad de ajuste ( $\rho^2$ ) son adecuados, pero el valor de MNL1 tiene mejor comportamiento ya que se aproxima a 0.2, considerado como buen ajuste.

El modelo que mejor explica el comportamiento de los usuarios es el MNL1. Cuando no se considera las encuestas que no cumplen con los supuestos de la teoría del consumidor y las incompletas se obtiene un mejor modelo.

De manera más específica se describe los resultados del MNL1:

Los valores esperados para los parámetros de las variables se consideran adecuados.

Los signos resultaron los esperado para el coeficiente del tiempo y costo son negativos, esto indica que dentro de la función de utilidad mientras más tiempo se demore un modo en llegar a su destino la desutilidad es mayor y si el costo del

pasaje es más alto, la utilidad que le da un usuario es menor. El signo del coeficiente de la variable confort resultó positivo y la constante modal del modo ferroviario resultó positiva indicando que existiría menos preferencia por el uso del bus al tener un ferrocarril de pasajeros.

Los valores de  $Pr > |z|$  son estadísticamente significativos, muy inferiores al 5%.

La función estimada indica que a medida que incrementa el tiempo de viaje y el costo de viaje, la desutilidad del usuario aumenta, provocando la disminución en la probabilidad de elección de la alternativa cuyo costo y tiempo de viaje ha aumentado. La formulación de las funciones de utilidad del modo ferroviario y el modo bus son las siguientes:

$$V_{rail} = 0.9871 - 0.0257 * CO_{rail} - 0.0842 * TV_{rail} + 0.5187 * COM_{rail}$$

$$V_{bus} = -0.0257 * CO_{bus} - 0.0842 * TV_{bus} + 0.5187 * COM_{bus}$$

El coeficiente del tiempo de viaje tiene un impacto de 3.3 veces el coeficiente del costo del pasaje en la valoración de la utilidad por parte de los encuestados.

### 6.1.3. Probabilidad

Con el modelo calibrado o estimado por máxima verosimilitud se procede a hallar las probabilidades del modo de ferroviario de tal manera que se reproduzcan las elecciones observadas. Para esta parte del capítulo las gráficas se desarrollaron en Mathcad con la finalidad de observar el comportamiento de las funciones utilizando los valores de los atributos considerados en las PD.

La Tabla N°6.4 contiene los atributos utilizados y las abreviaturas o codificaciones utilizadas.

Tabla N°6.4  
*Atributos y variables utilizados en Mathcad*

| Atributo                | Modo        | Variable | Variable inicial | Variable final |
|-------------------------|-------------|----------|------------------|----------------|
| Tiempo de viaje         | Ferrocarril | tf       | tf0              | tf1            |
| Costo de viaje (tarifa) | Ferrocarril | cf       | cf0              | cf1            |
| Confort                 | Ferrocarril | comf     | comf0            | comf1          |
| Tiempo de viaje         | Bus         | tb       | tb0              | tb1            |
| Costo de viaje (tarifa) | Bus         | comf     | cb0              | cb1            |
| Confort                 | Bus         | comb     | comb0            | comb1          |

Elaboración propia.

Los valores considerados para realizar las gráficas fueron inferiores y superiores a los límites de los niveles de los atributos con el fin de ver el comportamiento general de las funciones. Cada valor en su respectiva unidad, excepto el confort.

Tabla N°6.5

Valores utilizados para las variables

| tf0 | tf1 | cf0 | cf1 | comf0 | comf1 | tb0 | tb1 | cb0 | cb1 | comb0 | comb1 |
|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| 3   | 6   | 10  | 360 | 1     | 1     | 7   | 14  | 20  | 130 | 0     | 0     |

Elaboración propia.

Debido al que el confort es una variable dicotómica, adoptó el valor de 0 y 1. En la Tabla N°6.5 se muestra que a la variable *comf* se le asignó el valor de uno y a la variable *comb* se le asignó cero. Ambas variables tuvieron similar descripción, sin embargo, para estimar el modelo consideró como comodidad alta para el ferrocarril porque es un modo más cómodo en el desplazamiento.

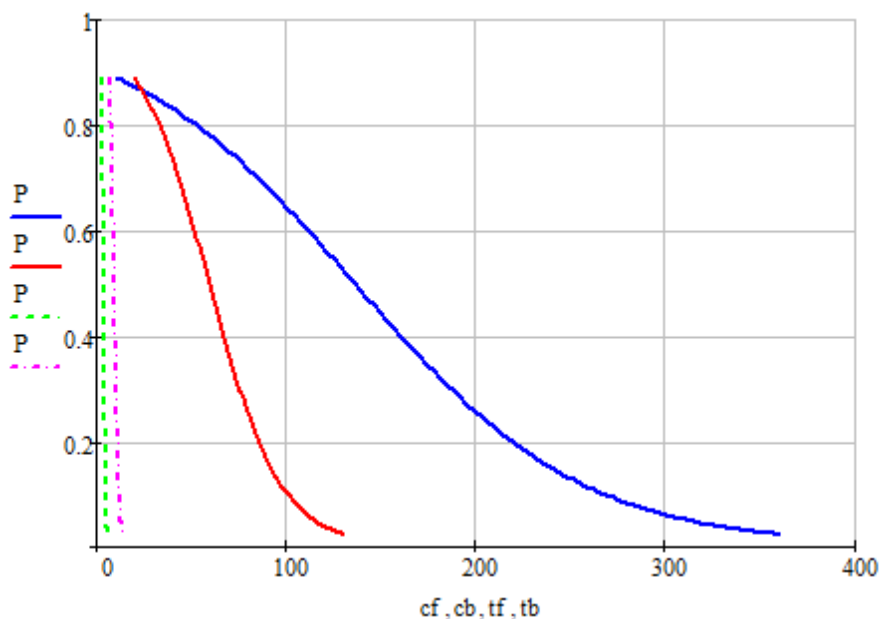


Figura N°6.19. Probabilidades vs. Tarifa Ferrocarril (Curva Azul), Tarifa Bus (Curva Roja), Tiempo Ferrocarril (Curva Verde), Tiempo Bus (Curva Magenta).

Elaboración propia.

En la Figura N°6.19 se puede observar que la curva obtenida es tipo S tal cual es el comportamiento de una curva de un modelo logit. A medida que los valores de las variables independientes son mayores la probabilidad de elección disminuye.

De manera general se puede observar el decrecimiento rápido de la variable tiempo, esto debido a la amplitud de los valores que tiene en el eje de las abscisas. El decrecimiento lento se observa en la variable tarifa por los valores en el eje de

abscisas. Para ambas variables se produce una relación inversa respecto de la probabilidad de elección, a mayor tiempo de viaje y/o tarifa, menor probabilidad de elección, y viceversa.

En la Figura N°6.20 se puede ver que la probabilidad de elegir ferrocarril es menor a medida que el tiempo de viaje aumenta, sin embargo, cuando el tiempo de viaje del modo ferroviario es menor la probabilidad de elección del mismo modo se incrementa. También se observa que la probabilidad de elegir ferrocarril disminuye rápidamente, respecto a la variación de tiempo de viaje del modo bus.

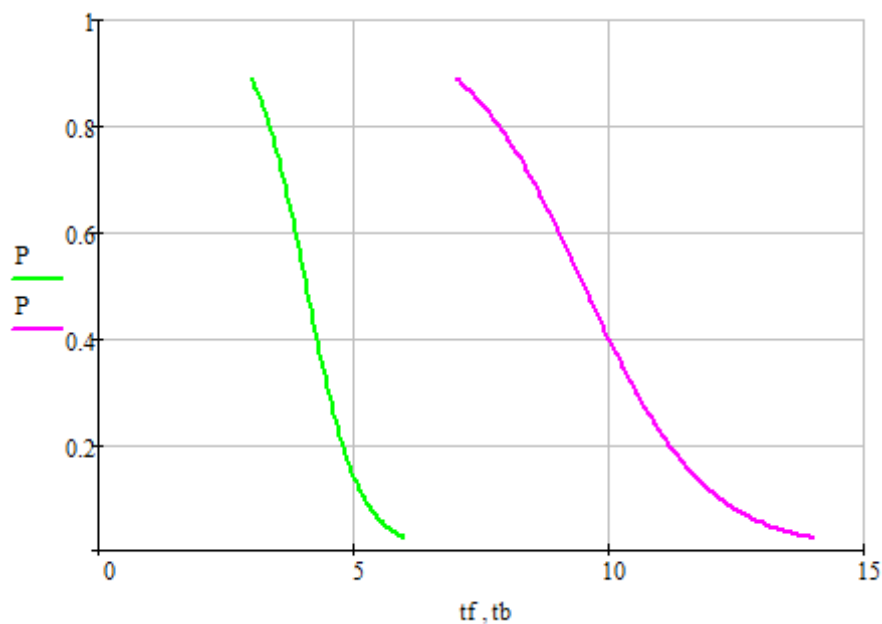


Figura N°6.20. Probabilidades vs. Tiempo Ferrocarril (Curva Verde), Tiempo Bus (Curva Magenta).  
Elaboración propia.

La Figura N°6.21 muestra las probabilidades de elección del ferrocarril en el eje de las ordenadas y los costos en el eje de las abscisas. La probabilidad de elección de modo bus decrece rápidamente cuando el costo también cambia rápidamente se encuentra entre 0 y 100 soles, por otro lado, la curva azul de probabilidad de elección del ferrocarril baja lentamente mientras la tarifa se incrementa.

Cuando los costos de viaje se incrementan por encima de los valores reales del mercado, que fueron considerados en las PD, la probabilidad de elección se aproxima a cero.

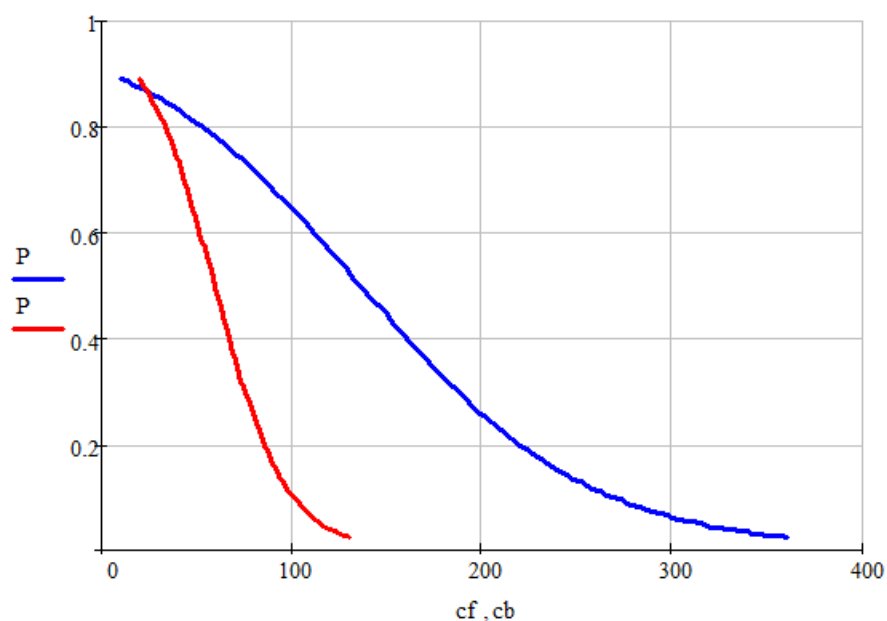


Figura N°6.21. Probabilidades vs. Tarifa Ferrocarril (Curva Azul), Tarifa Bus (Curva Roja).  
Elaboración propia.

Con los signos de los coeficientes negativos para el tiempo y tarifa se puede observar en la Figura N°6.22 que la desutilidad aumenta y la probabilidad se tiende a cero. Cuando el valor de la desutilidad se acerca a cero la probabilidad del elegir el ferrocarril es superior al 80%.

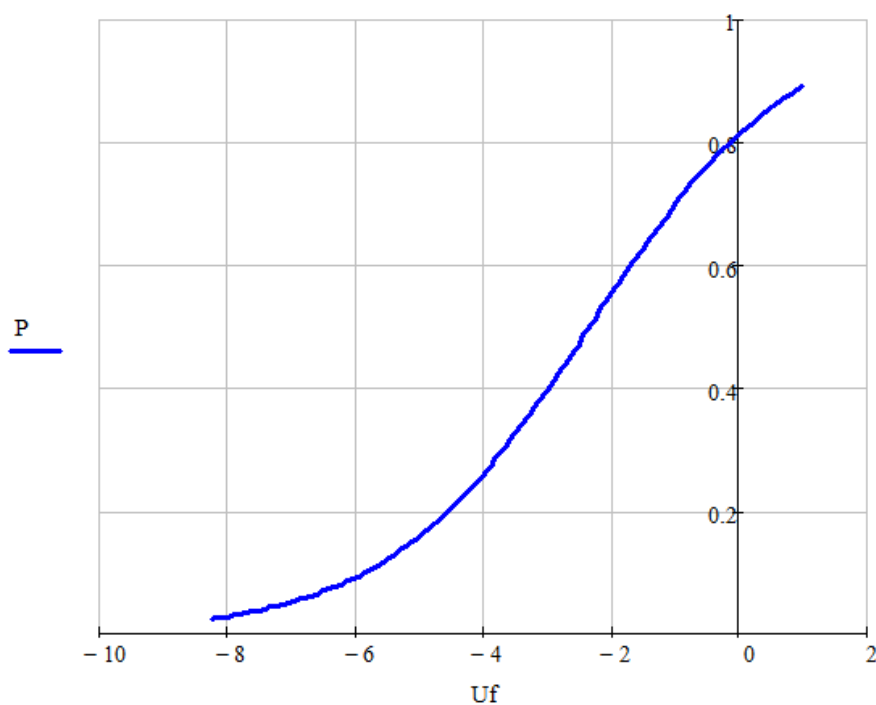


Figura N°6.22. Probabilidad de elección vs. Utilidad del ferrocarril.  
Elaboración propia.

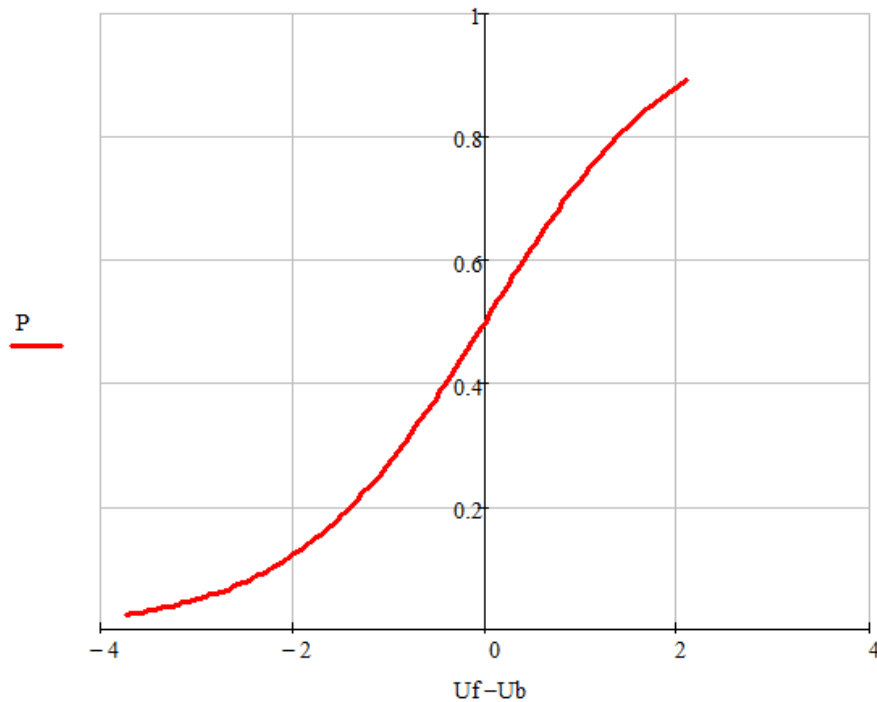
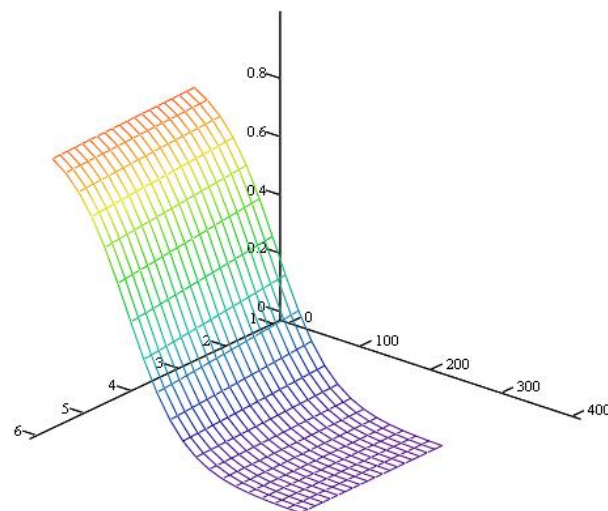


Figura N°6.23. Probabilidad de elección vs. Diferencia de Utilidades.  
Elaboración propia.

Según la Figura N°6.23 existe un único valor de probabilidad para la diferencia de utilidades. Esta curva también es conocida como curva de respuesta logit (Ortúzar & Willumsen, Modelos de Transporte, 2008, pág. 364).



P1

Figura N°6.24. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. valores de tiempo y costo.  
Elaboración propia.

La Figura N°6.24 muestra como varía la probabilidad de elección (eje z) mientras cambian los valores de tiempo (eje x), que varía entre 0 y 6 horas, y cuando cambia el valor del costo de viaje (eje y) entre 0 y 400 soles.

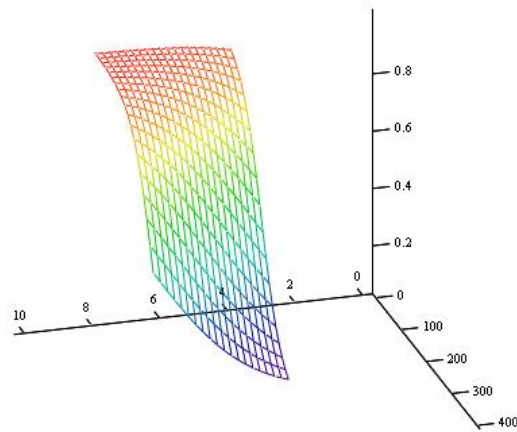


Figura N°6.25. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. Diferencias entre valores de tiempo y costo (Vista 1). Elaboración propia.

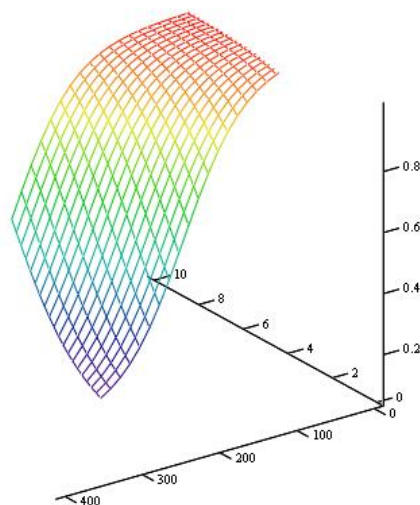


Figura N°6.26. Probabilidad de elección de Ferrocarril vs. Diferencias entre valores de tiempo y costo (Vista 2). Elaboración propia.

Para construir el gráfico 3D de la Figura N°6.25 y Figura N°6.26 se halló la diferencia de tiempos de viaje entre ferrocarril y bus, y la diferencia de costos de viaje entre ambos modos. Cada línea de la malla significa la probabilidad (eje z) de elección del ferrocarril mientras se mantiene constante una de las variables.

Al tener mayor diferencia en los costos existen menor probabilidad de elección del ferrocarril, al tener mayor diferencia en los tiempos de viaje mayor probabilidad de elección del ferrocarril.

#### 6.1.3.1. Probabilidades de Modo Ferroviario

Analizada la probabilidad de manera general de acuerdo al modelo estimado y elegido, se calculan las cuotas de mercado o la probabilidad de que los usuarios opten por un modo de transporte: Las probabilidades a hallar son del modo ferroviario.

En la Figura N°6.27 se presenta las curvas de probabilidad cuando la variable costo de ferrocarril cambia mientras el tiempo de viaje se mantiene constante. Las variables tiempo y costo para el bus también se mantienen constantes.

Debido a que el modelo presenta un buen comportamiento se puede obtener la probabilidad para diferentes valores de tiempo de viaje y costo (tarifa).

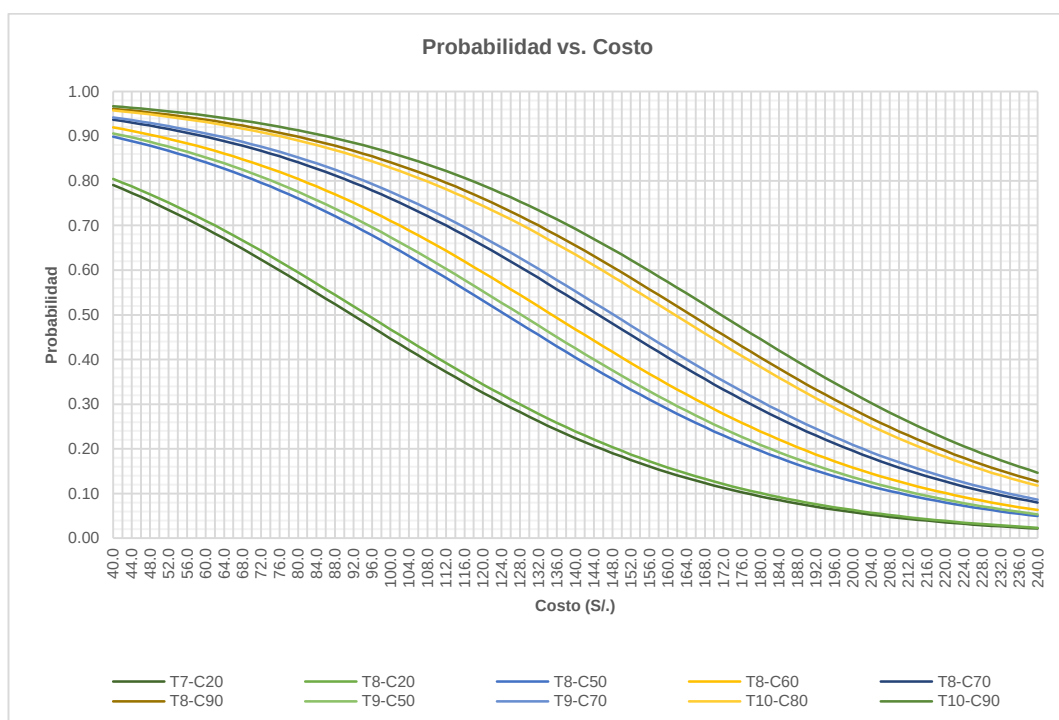


Figura N°6.27. Probabilidades de elección de Ferrocarril vs. Costos. Elaboración propia.

A mayor precio y mayor tiempo de viaje disminuye la probabilidad de viajar o de elegir del modo ferroviario. La probabilidad de elegir ferrocarril se incrementa siempre y cuando el tiempo de viaje sea menor, sin embargo, si el precio se

incrementa este no tendría mucha captación, tal como se observa en la figura anterior.

Por ejemplo, para un costo de S/.120 soles en la tarifa del ferrocarril la probabilidad de elección sería de 78.99%, indicando que este porcentaje optaría por seleccionar el ferrocarril como modo de transporte en caso existiera. Esto se produce cuando la tarifa del bus es de S/.90.0 soles el tiempo de viaje es de 10 horas y el tiempo de viaje del ferrocarril es de 3 horas.

Eligiendo la curva intermedia del gráfico de probabilidades con tiempo de viaje de bus de 8 horas y tarifa de 60 soles la probabilidad de optar por el ferrocarril sería de 59.5%, mientras que el bus tendría 40.5% de probabilidad.

Tabla N°6.6

*Cuadro de tarifas, tiempos de viaje y probabilidad.*

| Modo        | Tarifa de viaje | Tiempo de viaje | Probabilidad de elección |
|-------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Ferrocarril | 60 soles        | 3 horas         | 0.693                    |
| Bus         | 20 soles        | 7 horas         | 0.307                    |
| Ferrocarril | 80 soles        | 3 horas         | 0.595                    |
| Bus         | 20 soles        | 8 horas         | 0.405                    |
| Ferrocarril | 110 soles       | 3 horas         | 0.711                    |
| Bus         | 70 soles        | 8 horas         | 0.289                    |
| Ferrocarril | 150 soles       | 3 horas         | 0.574                    |
| Bus         | 80 soles        | 10 horas        | 0.426                    |
| Ferrocarril | 130 soles       | 3 horas         | 0.468                    |
| Bus         | 50 soles        | 8 horas         | 0.532                    |
| Ferrocarril | 90 soles        | 3.5 horas       | 0.500                    |
| Bus         | 20 soles        | 8 horas         | 0.500                    |
| Ferrocarril | 120 soles       | 3.5 horas       | 0.585                    |
| Bus         | 60 soles        | 8 horas         | 0.415                    |
| Ferrocarril | 130 soles       | 3.5 horas       | 0.700                    |
| Bus         | 90 soles        | 8 horas         | 0.300                    |
| Ferrocarril | 110 soles       | 3.5 horas       | 0.605                    |
| Bus         | 50 soles        | 9 horas         | 0.395                    |
| Ferrocarril | 140 soles       | 3.5 horas       | 0.683                    |
| Bus         | 90 soles        | 10 horas        | 0.317                    |

Elaboración propia.

En la Tabla N°6.6 se muestra diferentes valores de probabilidad, tiempo y tarifa que se obtendrían del modelo obtenido. De acuerdo a la gráfica obtenida de probabilidades se realiza la tabla en mención con diferentes valores de costos de viaje, tiempos de viaje y probabilidad de elección; se muestra diferentes escenarios que pudieran ocurrir.

#### 6.1.3.2. Ingresos

Al igual que la probabilidad, se analiza la función de ingreso para conocer su comportamiento. Los ingresos dependen de la demanda, la probabilidad y tarifa de viaje. Se puede observar en la siguiente figura que la curva tiene una distribución asimétrica positiva, Para tarifas entre 100 y 150 soles el ingreso que generaría el ferrocarril (If) lograría cantidades altas.

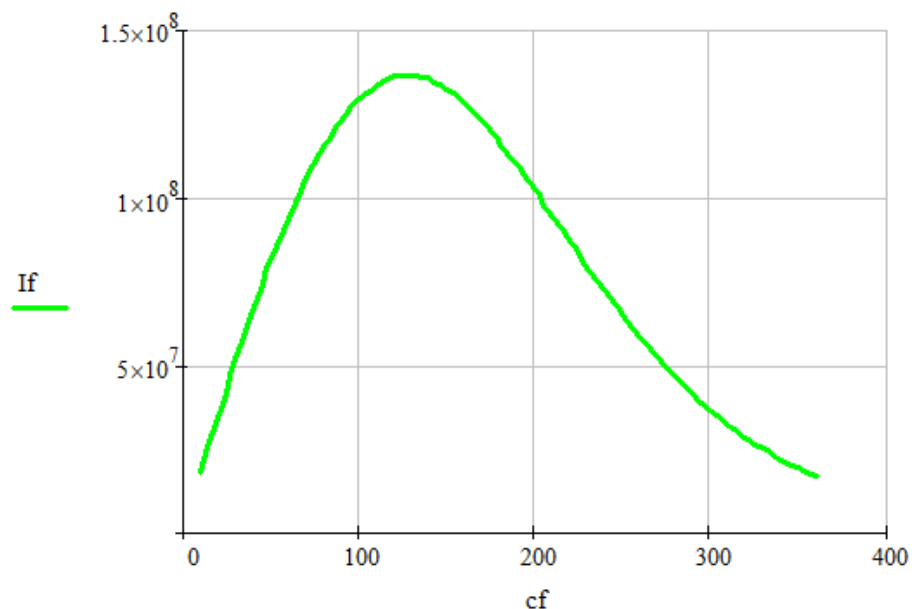


Figura N°6.28. Ingreso vs. Costos.  
Elaboración propia.

Considerando una demanda de 2,000,000 usuarios, de acuerdo a la gráfica el ingreso máximo que se generaría sería de S/. 136,500,000.00, con una tarifa de S/. 129.00. Estos valores presentan poca variación si es que se modifica los límites de las variables programadas. Ver Figura N°6.28.

A partir de las cuotas de mercado halladas también se calcula el valor de los ingresos para las diferentes situaciones planteadas.

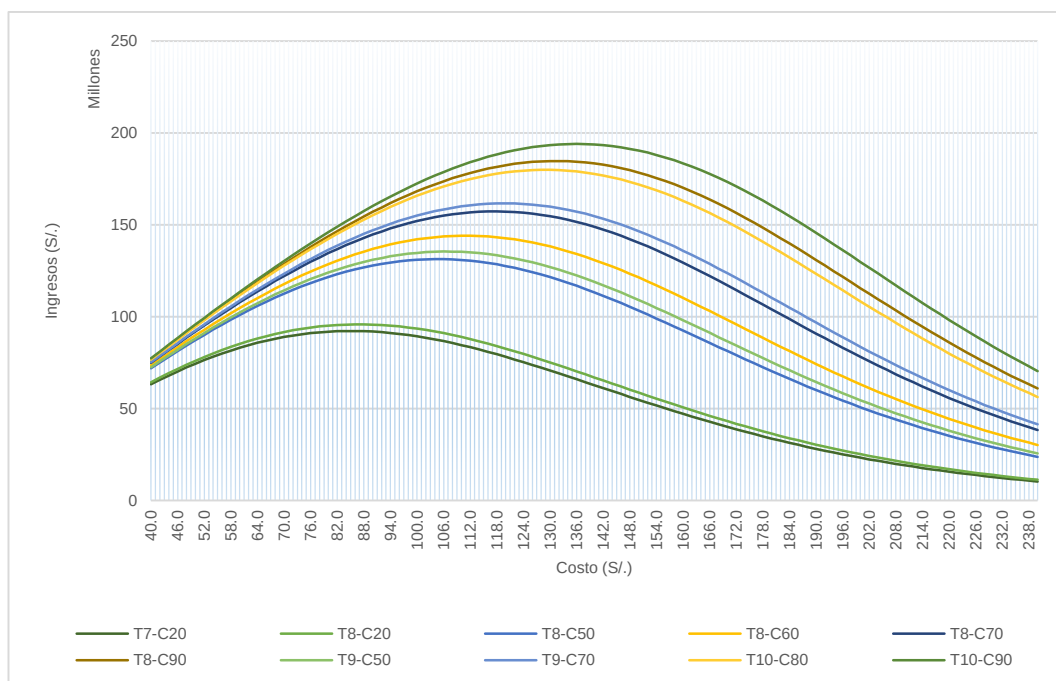


Figura N°6.29. Tarifa que maximiza ingresos.  
Elaboración propia.

Esto se muestra en la Figura N°6.29. De acuerdo a la cuota de mercado elegida se obtendría un ingreso máximo de S/. 144,135,253.00.

El costo de viaje para maximizar el ingreso sería de S/.110.00, pudiendo llegar a cobrar una tarifa de aproximadamente S/.136.00.

#### 6.1.4. Estimación del VST

La estimación del valor social del tiempo se realizó con los datos de las encuestas realizadas.

De las 306 encuestas, para el cálculo del VST se consideran 299 encuestas, debido a que 7 individuos no declararon su ingreso mensual. Ver *Tabla N°6.7* Rango de ingresos.

De las medianas obtenidas de los ingresos y los casos dentro de los rangos se obtiene que el ingreso promedio mensual es de S/.1645.84, y la proyección del ingreso promedio mensual al 2020 es de S/. 2080.98.

Además, de acuerdo a la metodología que realiza Bonifaz (2000), se procede a calcular el valor social del tiempo. En la *Tabla N°6.8* se muestra lo calculado.

Tabla N°6.7  
Rango de ingresos

| Rango de ingresos |      | Mediana | Casos |  | Ponderación |
|-------------------|------|---------|-------|--|-------------|
| 0                 | 1000 | 500.00  | 84    |  | 42000.00    |
| 1001              | 2000 | 1500.50 | 125   |  | 187562.50   |
| 2001              | 3000 | 2500.50 | 66    |  | 165033.00   |
| 3001              | 4000 | 3500.50 | 14    |  | 49007.00    |
| 4001              | 5000 | 4500.50 | 8     |  | 36004.00    |
| 5001              | 6000 | 5500.50 | 1     |  | 5500.50     |
| 6000>             | 7000 | 7000.00 | 1     |  | 7000.00     |
| No declara*       |      |         | 7     |  | 0.00        |

Elaboración propia.

Tabla N°6.8  
Valor Social del Tiempo

| MOTIVO                                                                                |           |            |         | Costo de oportunidad |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|---------|----------------------|
| Trabajo                                                                               | 0.405     |            |         | 2122.60              |
| Ocio                                                                                  | 0.595     |            |         | 636.78               |
| VST                                                                                   | Soles/Mes | Soles/hora | US/Mes  | US/hora              |
|                                                                                       | 1238.06   | 7.03       | 383.30  | 2.18                 |
| Índices fin de periodo (variación porcentual) - Índice de Precios al Consumidor (IPC) |           |            |         |                      |
| Año                                                                                   | 2020      | 2021       | 2022    | 2023                 |
| Var.                                                                                  | 1.97      | 6.43       | 8.46    | 3.24                 |
| VST actualizado                                                                       |           |            |         |                      |
| Año                                                                                   | 2021      | 2022       | 2023    |                      |
| VST (Soles/Mes)                                                                       | 1317.68   | 1429.14    | 1475.41 |                      |
| VST (Soles/hora)                                                                      | 7.49      | 8.12       | 8.38    |                      |

Elaboración propia.

En este caso, el valor social del tiempo hallado para los usuarios de transporte fue de 7.03 soles/hora. Sin embargo, debido a que las encuestas se realizaron en

setiembre del 2017, se procede a realizar una actualización del VST de acuerdo a la metodología realizada por el Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (2012) utilizando la variación del índice de precios al consumidor (IPC).

Se tomaron las variaciones entre los años 2020 y 2023, cabe mencionar que esta actualización tiene sentido mientras no cambien las preferencias de los usuarios. El VST para los usuarios de transporte para el año 2023 fue de 8.38 soles/hora.

#### 6.1.5. Elasticidades

Para este estudio la elasticidad directa es la variación de la probabilidad de elegir el modo ferroviario respecto a variaciones marginales en las variables del modo, y la elasticidad cruzada es la variación de la probabilidad de elegir ferrocarril respecto de los atributos del bus. En la Tabla N°6.9 se calculan las elasticidades.

Tabla N°6.9  
*Elasticidades directas y cruzadas*

| Parámetro                                | Ferrocarril | Bus     |
|------------------------------------------|-------------|---------|
| Coeficiente tiempo                       | -0.0842     | -0.0842 |
| Coeficiente costo                        | -0.0257     | -0.0257 |
| $\Delta$ Tiempo de viaje (h)             | 1           | 1       |
| $\Delta$ Costo de viaje                  | 10          | 10      |
| Probabilidad                             | 0.595       | 0.405   |
| Elasticidad directa (respecto al tiempo) | -3.41%      | -5.01%  |
| Elasticidad directa (respecto al costo)  | -10.41%     | -15.29% |
| Elasticidad cruzada (respecto al tiempo) | 5.01%       | 3.41%   |
| Elasticidad cruzada (respecto al costo)  | 15.29%      | 10.41%  |

Elaboración propia.

De la Tabla N°6.9 se puede observar que la probabilidad de elegir ferrocarril puede variar en 3.41% si el tiempo de viaje varía en 1 hora; la probabilidad de elegir ferrocarril puede cambiar en 10.41% si se realiza un cambio de 10 soles en la tarifa. En el caso de la utilidad cruzada, una variación de 1 hora en el tiempo de viaje produce un cambio en la probabilidad de elección de ferrocarril en 5.01%; si el costo varía en 10 soles la probabilidad de elección del ferrocarril puede variar en 15.29%.

## 6.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

### 6.2.1. Reportes de la geometría

#### 6.2.1.1. Planta

Del proyecto creado en ISTRAM se obtiene el reporte del eje dibujado en planta, donde informa sobre la longitud, el tipo de alineación, radios, etc. En la Figura N°6.30, se muestra la información inicial de las alineaciones en planta.

\*\*\* LISTADO DE LAS ALINEACIONES \*\*\*

| EJE | DATO | TIPO  | LONGITUD  | P.K.       | X TANGENCIA | Y TANGENCIA   | RADIO      | PARAMETRO | AZIMUT   | Cos/Xc/Yinf | Sen/Yc/Yinf   |
|-----|------|-------|-----------|------------|-------------|---------------|------------|-----------|----------|-------------|---------------|
| 1   | 1    | RECTA | 8,050.435 | 0.000      | 315,794.801 | 8,679,636.082 |            |           | 177.4180 | 0.3473251   | -0.9377448    |
| 1   |      | CLOT. | 160.000   | 8,050.435  | 318,590.919 | 8,672,086.828 |            | 505.964   | 177.4180 | 318,590.919 | 8,672,086.828 |
| 1   | 2    | CIRC. | 2,226.119 | 8,210.435  | 318,648.978 | 8,671,937.752 | -1,600.000 |           | 174.2349 | 320,119.720 | 8,672,567.767 |
| 1   |      | CLOT. | 160.000   | 10,436.554 | 320,477.072 | 8,671,008.184 |            | 505.964   | 85.6604  | 320,631.736 | 8,671,049.092 |
| 1   | 3    | RECTA | 322.037   | 10,596.554 | 320,631.736 | 8,671,049.092 |            |           | 82.4773  | 0.9623586   | 0.2717830     |
| 1   |      | CLOT. | 160.000   | 10,918.591 | 320,941.651 | 8,671,136.616 |            | 357.771   | 82.4773  | 320,941.651 | 8,671,136.616 |
| 1   | 4    | CIRC. | 1,480.701 | 11,078.591 | 321,096.923 | 8,671,174.929 | 800.000    |           | 88.8435  | 321,236.403 | 8,670,387.182 |
| 1   |      | CLOT. | 160.000   | 12,559.292 | 322,032.011 | 8,670,303.468 |            | 357.771   | 206.6739 | 322,004.716 | 8,670,145.886 |
| 1   |      | CLOT. | 170.000   | 12,719.292 | 322,004.716 | 8,670,145.886 |            | 357.071   | 213.0401 | 322,004.716 | 8,670,145.886 |
| 1   | 5    | CIRC. | 739.970   | 12,889.292 | 321,976.464 | 8,669,978.348 | -750.000   |           | 205.8251 | 322,723.327 | 8,669,909.818 |
| 1   |      | CLOT. | 170.000   | 13,629.262 | 322,254.261 | 8,669,324.602 |            | 714.143   | 143.0145 | 322,881.693 | 8,669,078.944 |
| 1   | 6    | CIRC. | 188.222   | 13,799.262 | 322,396.987 | 8,669,232.762 | -1,000.000 |           | 130.3882 | 322,856.402 | 8,670,120.983 |
| 1   |      | CLOT. | 130.000   | 13,987.484 | 322,571.298 | 8,669,162.487 |            | 360.555   | 118.4057 | 322,697.367 | 8,669,130.862 |

Figura N°6.30. Listado parcial de alineaciones en planta.  
Elaboración propia.

El trazo geométrico cumple con la normativa referenciada. El listado final de las alineaciones en planta, que en total fueron 226, se puede ver en el Anexo O.

#### 6.2.1.2. Alzado

Del trazo en alzado se genera una lista de los valores de pendientes, cotas, etc.

EJE : 1 :

\*\*\*\*\*  
\* \* \* ESTADO DE RASANTES \* \* \*  
\*\*\*\*\*

| PENDIENTE | LONGITUD | PARAMETRO  | VÉRTICE   | ENTRADA AL ACUERDO | SALIDA DEL ACUERDO | BISECT.  | DIF. PEN                        |
|-----------|----------|------------|-----------|--------------------|--------------------|----------|---------------------------------|
| (o/oo)    | (m.)     | ( kv )     | PK        | Z                  | PK                 | Z        | (m.) (%)                        |
|           |          |            |           | 0.000 939.848      |                    |          |                                 |
| 10.571962 | 113.056  | 25000.000  | 9321.938  | 1038.399           | 9265.410           | 1037.802 | 9378.466 1038.741 0.064 -0.452  |
| 6.049725  | 41.510   | 7000.000   | 9999.996  | 1042.501           | 9979.241           | 1042.376 | 10020.751 1042.750 0.031 0.593  |
| 11.979713 | 187.751  | 200000.000 | 11818.841 | 1064.290           | 11724.966          | 1063.166 | 11912.717 1065.503 0.022 0.094  |
| 12.918467 | 67.411   | 200000.000 | 13259.670 | 1082.904           | 13225.965          | 1082.468 | 13293.375 1083.351 0.003 0.034  |
| 13.255520 | 47.055   | 7500.000   | 13893.098 | 1091.300           | 13869.571          | 1090.988 | 13916.626 1091.760 0.037 0.627  |
| 19.529490 | 55.040   | 12000.000  | 14859.371 | 1110.171           | 14831.851          | 1109.634 | 14886.891 1110.582 0.032 -0.459 |
| 14.942803 | 49.526   | 12000.000  | 15664.790 | 1122.206           | 15640.027          | 1121.836 | 15689.552 1122.678 0.026 0.413  |
| 19.069950 | 45.116   | 100000.000 | 16193.540 | 1132.289           | 16170.982          | 1131.859 | 16216.097 1132.730 0.003 0.045  |
| 19.521105 | 43.040   | 20000.000  | 16529.209 | 1138.842           | 16507.688          | 1138.422 | 16550.729 1139.216 0.012 -0.215 |
| 17.369086 | 95.815   | 50000.000  | 17731.348 | 1159.722           | 17683.441          | 1158.890 | 17779.256 1160.646 0.023 0.192  |
| 19.285379 | 43.545   | 10000.000  | 18608.222 | 1176.633           | 18586.449          | 1176.213 | 18629.995 1176.958 0.024 -0.435 |
| 14.930838 | 43.878   | 900000.000 | 20047.635 | 1198.125           | 20025.696          | 1197.797 | 20069.574 1198.453 0.000 0.005  |
| 14.979591 | 100.136  | 30000.000  | 23727.371 | 1253.246           | 23677.303          | 1252.496 | 23777.439 1253.828 0.042 -0.334 |

Figura N°6.31. Listado parcial de Rasantes – Alzado.  
Elaboración propia.

Algunos de los valores de las pendientes a lo largo del perfil longitudinal se encuentran entre 1.5% y 2%, valores que se pueden ajustar si es que se tiene una cartografía más detallada del terreno, sin embargo, estos valores son permitido

como excepcionales para ferrocarriles mixtos, considerando que se tiene una vía existente, y este tramo mejorado pertenece a la vía.

En el Anexo P se puede ver el listado completo de las rasantes.

#### 6.2.1.3. Mediciones de materiales

El programa calcula los volúmenes de materiales de corte, relleno y materiales que se pueden utilizar como balasto, subbalasto, etc., esto se puede ver en la siguiente tabla, Tabla N°6.10:

Tabla N°6.10  
*Mediciones de materiales*

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| PROYECTO                     | Nueva Ruta FCCA        |
| EJE                          | Todos los ejes activos |
| <b>RESUMEN DE MEDICIONES</b> |                        |
| PK inicial                   | 0                      |
| PK final                     | 266206.955             |
| Longitud (m)                 | 266206.955             |
| <b>Material</b>              |                        |
| <b>Volumen (m3)</b>          |                        |
| CAPA DE FORMA                | 887,544.1              |
| FIRME                        | 2,078,832.2            |
| REVESTIMIENTO                | 1,347,917.3            |
| SUBBALASTO                   | 644,131.1              |
| REYES CUNETAS                | 20,346.2               |
| D TIERRA                     | 4,884,743.1            |
| TERRAPLEN                    | 3,496,933.8            |
| BALASTO                      | 547,153.9              |
| EXC TUNEL T                  | 14,881,665.6           |

Elaboración propia.

Se adecua el formato y se presenta solo el resumen de los volúmenes de materiales calculados.

Se observa que las cantidades de materiales que se podrían utilizar son considerables, esto por la envergadura del proyecto.

#### 6.2.2. Características de la geometría de la vía del FCCA

Se obtiene las características geométricas del trazo comparado con la normativa utilizada.

Dentro del análisis de las características geométricas resultaron 5 alineaciones curvas de corta longitud lo cual influye en la velocidad del proyecto, de acuerdo a

la normativa debería ser 30 m, estas son: 29.69, 28.66, 20.68, 20.96 y 24.96 todas en metros. Se podrían modificar cambiando la velocidad del proyecto para esas alineaciones.

Después de lo acotado se puede decir que todos los parámetros hallados cumplen con la normativa de IGP-3 (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2011).

|                                                                                                                                                    |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|------------|----------|-------------------|-----------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------|--|
| Istram 19.06.06.27 22/09/20 20:58:20 1360                                                                                                          |     |            |            |          |                   |           |        |        |        | pagina 1 |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| PROYECTO : Nueva Ruta FCCA                                                                                                                         |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| GRUPO : 0 : Grupo 0                                                                                                                                |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| EJE : 1 :                                                                                                                                          |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| NORMA : Norma ADIF 2004/2006/2008/2011 Ancho Internacional                                                                                         |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| CATEGORIA: ADIF 2008/2011                                                                                                                          |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| *****                                                                                                                                              |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| * * * CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TRAZADO DE LA VÍA * * *                                                                                      |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| *****                                                                                                                                              |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| Control de Valores fuera de rango <VRieahiral> R:en círculos A:en clotoides                                                                        |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| /V:Velocidad/R:Radio/i:insufi. de h/e:exceso de h/a:a.n.c./h:Var. de h/i:Var. de la insufi./r:Var. de la rampa de h/a:Var. de la a.n.c./L:longitud |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| (VH y VHI Máximas pueden variar con HI de cada curva, y Rampa Máxima con Vp )                                                                      |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| -----                                                                                                                                              |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| Tramo                                                                                                                                              | VP  | PKS        | TRAMO      | LONGITUD | MODOS DISPONIBLES | R. MINIMO | H max  | HI max | He max | anc max  | VH     | VHI   | Rampa | Vanc  | Min.Lon.CIR | Rec_C/Rec_S | RRRRRAAAAR  |            |  |
| 120                                                                                                                                                |     | 0.000      |            |          | Normal            | 711.198   | 140.00 | 100.00 | 80.00  | 0.650    | 30.00  | 30.00 | 0.80  | 0.20  | 40.000      | 40.0        | 40.0        |            |  |
|                                                                                                                                                    |     | 266206.955 | 266206.955 | 1        | Excepcional       | 588.578   | 160.00 | 130.00 | 100.00 | 0.850    | 50.00  | 55.00 | 2.00  | 0.36  | 30.000      | 30.0        | 30.0        |            |  |
| -----                                                                                                                                              |     |            |            |          |                   |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| ALI                                                                                                                                                | V   | PK         |            | LONGITUD | MODO ALINEACION   | R/A       | Hr     | H      | HI     | V min    | a.n.c. | VH    | VHI   | Rampa | Vanc        | LONGITUD    | LONG. RECTA | VRieahiral |  |
| 1                                                                                                                                                  | 120 |            | 0.000      | 8050.435 | RECTA             |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             | 8050.435    |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 8050.435   | 160.000  | CLOTOIDE          | 505.964   |        |        |        |          |        | 12.96 | 9.26  | 0.39  | 0.06        |             |             |            |  |
| 2                                                                                                                                                  | 120 |            | 8210.435   | 2226.119 | CIRCULAR          | 1600.000  | 6.68   | 62.23  | 44.45  | 0.00     | 0.289  | 12.96 | 9.26  | 0.39  | 0.06        | 2226.119    |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 10436.554  | 160.000  | CLOTOIDE          | 505.964   |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| 3                                                                                                                                                  | 120 |            | 10596.554  | 322.037  | RECTA             |           |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             | 322.037     | S          |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 10918.591  | 160.000  | CLOTOIDE          | 357.771   |        |        |        |          |        | 25.93 | 18.52 | 0.78  | 0.12        |             |             |            |  |
| 4                                                                                                                                                  | 120 |            | 11078.591  | 1480.701 | CIRCULAR          | 800.000   | 113.36 | 124.46 | 88.90  | 54.78    | 0.579  | 25.93 | 18.52 | 0.78  | 0.12        | 1480.701    |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 12559.292  | 160.000  | CLOTOIDE          | 357.771   |        |        |        |          |        | 26.03 | 18.59 | 0.78  | 0.12        |             |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 12719.292  | 170.000  | CLOTOIDE          | 357.071   |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| 5                                                                                                                                                  | 120 |            | 12889.292  | 739.970  | CIRCULAR          | 750.000   | 127.58 | 132.76 | 94.83  | 57.78    | 0.617  | 26.03 | 18.59 | 0.78  | 0.12        | 739.970     |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 13629.262  | 170.000  | CLOTOIDE          | 714.143   |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| 6                                                                                                                                                  | 120 |            | 13799.262  | 188.222  | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12  | 40.63    | 0.463  | 25.53 | 18.24 | 0.77  | 0.12        | 188.222     |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 13987.484  | 130.000  | CLOTOIDE          | 300.555   |        |        |        |          |        | 25.53 | 18.24 | 0.77  | 0.12        |             |             |            |  |
|                                                                                                                                                    |     |            | 14117.484  | 130.000  | CLOTOIDE          | 300.555   |        |        |        |          |        |       |       |       |             |             |             |            |  |
| 7                                                                                                                                                  | 120 |            | 14247.484  | 69.964   | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12  | 40.63    | 0.463  |       |       |       |             | 69.964      |             |            |  |

Figura N°6.32. Características geométricas de la vía.  
Elaboración propia.

En el Anexo Q se puede ver el listado completo de las características geométricas de la vía.

### 6.2.3. Dibujos

Para los dibujos se procede a realizar el rotulado del eje proyecto y asignar plantillas que se encuentran en el software.

Así mismo se generan los dibujos del perfil longitudinal y secciones transversales donde contienen información del trazo de la vía.

Como ejemplo, en la Figura N°6.33 se muestra las características de las alineaciones de la vía para una curva.

Además, luego de tener los dibujos se generan los planos.

En el Anexo R se muestran planos del trazo conceptual para la vía del Ferrocarril Central Andino.

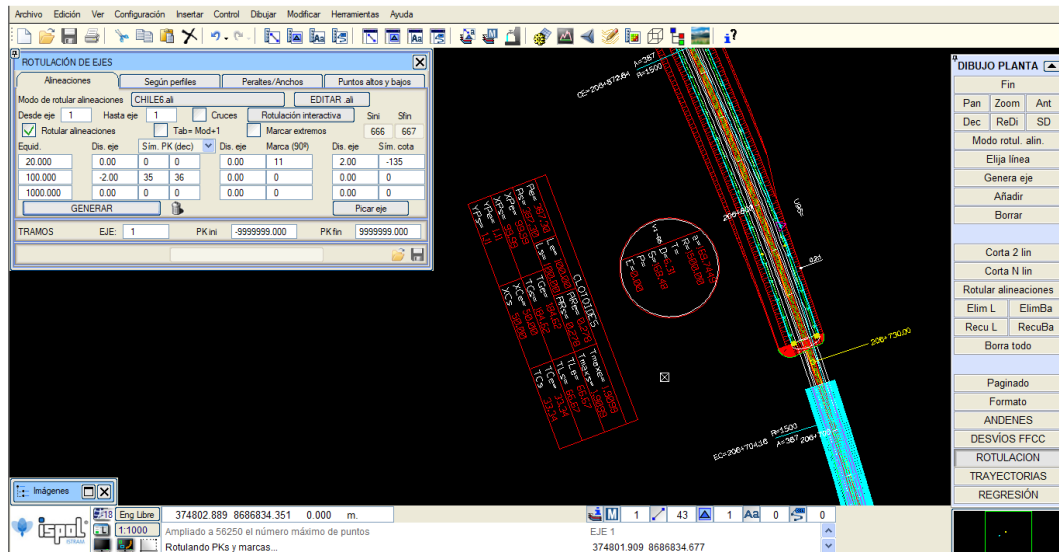


Figura N°6.33. Rotulado de eje  
Elaboración propia.

### 6.2.3.1. Planta

En la Figura N°6.34, se puede observar todo el trazo geométrico y las helicoides realizadas para el trazo. Se realizaron 10 túneles helicoidales para ganar altura.

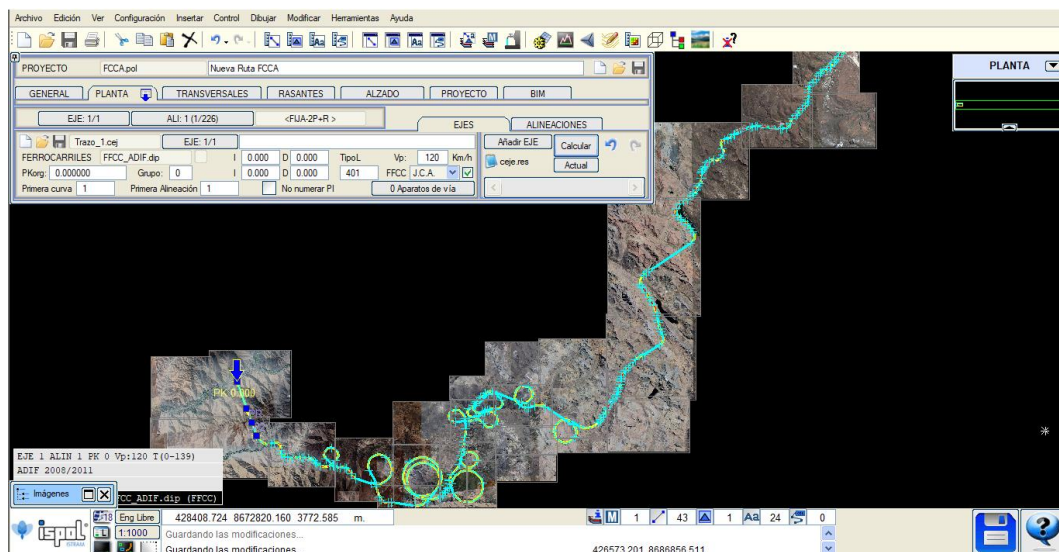


Figura N°6.34. Dibujo en planta del ferrocarril.  
Elaboración propia.

Como se mencionó en la Sección 5.1.4.8, dentro del trazo conceptual se tiene 51 puentes y 42 túneles.

La cantidad de kilómetros de túneles para el trazado conceptual son de 175.072 km., una longitud bastante importante, esto debido a la zona montañosa.

### 6.2.3.2. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal contiene los datos del ferrocarril, cotas, ordenadas, PK's y el diagrama de curvaturas. Estos se rotulan e indican por tramos el tipo de sección.

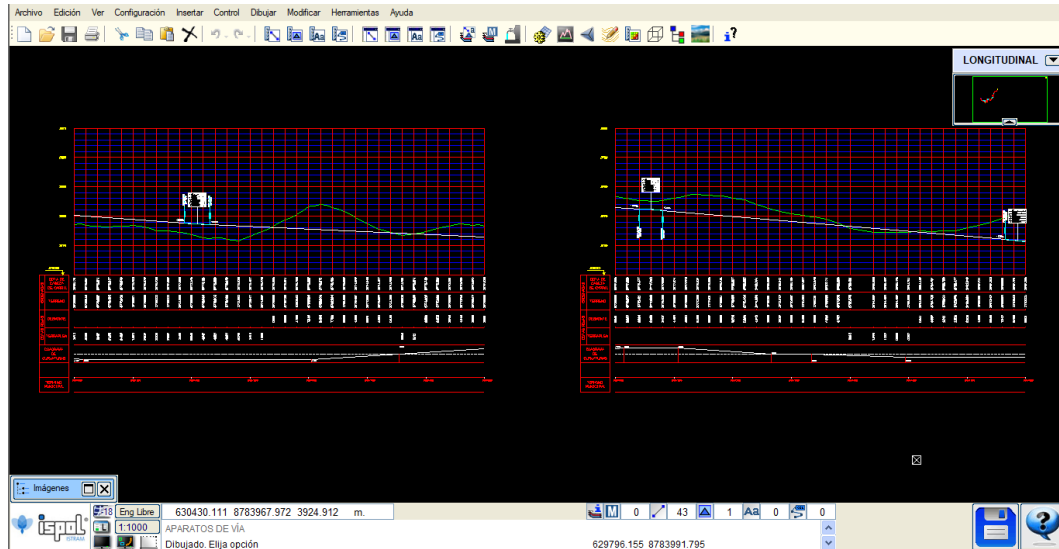


Figura N°6.35. Dibujo de perfil longitudinal.  
Elaboración propia.

### 6.2.3.3. Secciones Transversales

Las secciones generadas para la propuesta del trazo conceptual son de túneles, puentes y corte y relleno, son generadas cada 20 metros.

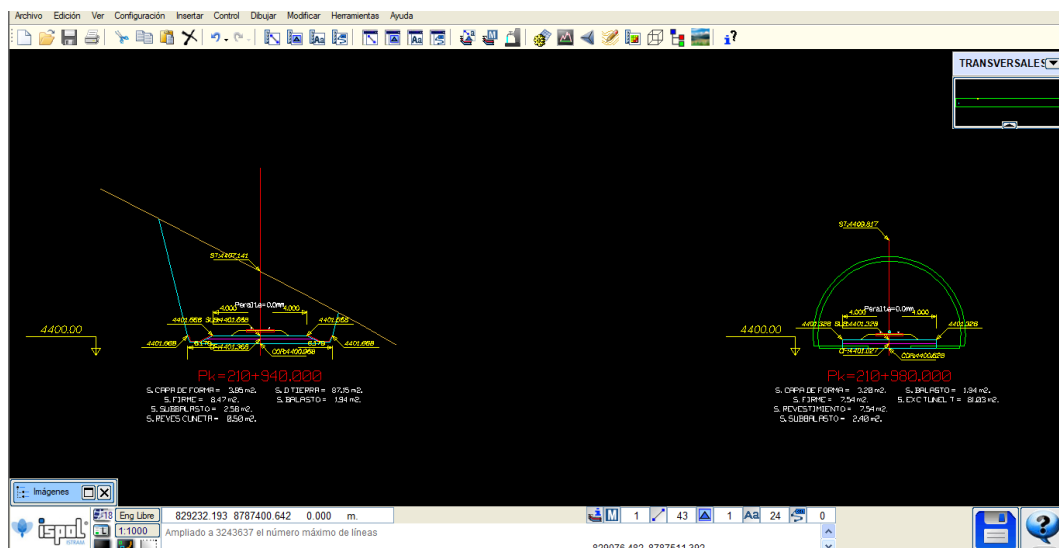


Figura N°6.36. Dibujo de secciones transversales.  
Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. El transporte es importante para la mayoría de actividades económicas, en consecuencia, es necesario realizar modelos que analicen el comportamiento de los usuarios y reflejen las características de la demanda. En este trabajo de investigación, la elección de los usuarios de una alternativa está basada en la teoría modelos de elección discreta.
2. El diseño de experimento fue factorial fraccionado realizado con las tablas de Kocur. Las alternativas fueron etiquetadas y el diseño de los escenarios fue de manera aleatoria, cabe mencionar que los escenarios 3, 4 y 5 tienen cierta tendencia a elegir ferrocarril, esto se puede comprobar en los porcentajes de elección 78%, 80% y 90% respectivamente, sin embargo, se puede observar que la importancia de la variable confort, ya que cuando esta fue alta, más usuarios decidieron por el ferrocarril. También, es importante indicar que existe un cierto número de individuos cautivos, que en caso existiera el ferrocarril seguirían movilizándose en modo bus.
3. Las estimaciones del modelo logit para la demanda fueron correctas, debido a que los valores de los test asociados fueron adecuados.
4. La función de utilidad refleja que la variable tiempo tiene mayor impacto que la variable costo en las decisiones de los usuarios. Ambas variables son importantes en la elección.
5. Los signos de los coeficientes estimados fueron los esperados para el tiempo y costo, ambos son negativos, esto indica que dentro de la función de utilidad mientras más tiempo se demore un modo en llegar a su destino la desutilidad es mayor y si el costo del pasaje es más alto, la utilidad que le da un usuario es menor. También, el signo del coeficiente de la variable confort resultó positivo y la constante modal del modo ferroviario resultó positiva indicando que existiría menos preferencia por el uso del bus al tener como alternativa un ferrocarril.
6. La probabilidad de elección del ferrocarril sería de 59.5%, esto conduce a esperar que el modo ferroviario tendría gran aceptación para el transporte. Esto se produce al elegir la curva intermedia del gráfico de probabilidades, teniendo el tiempo de viaje de bus de 8 horas y tarifa de 60 soles.

7. De acuerdo a la cuota de mercado elegida se obtiene un ingreso máximo de S/. 144,135,253.00, así el costo de viaje para maximizar el ingreso sería de S/.110.00, pudiendo llegar a cobrar una tarifa de aproximadamente S/.136.00, considerando una partición modal del 65.5%.
8. El valor social del tiempo fue de 7.03 soles/hora, y actualizado al año 2023 es 8.38 soles/hora.
9. El parámetro de elasticidad permite conocer las variaciones de atributos respecto a las otras variables.
10. Dentro de la caracterización de los usuarios, los principales motivos de viaje fueron visita, trabajo y turismo.
11. Un trazo alternativo o complementario del Ferrocarril Central para el servicio de personas, cumpliendo con normativas acreditadas, disminuiría el tiempo de viaje, además reduciría el impacto negativo en el medio ambiente por las altas emisiones de CO<sub>2</sub> que emiten los vehículos.
12. Los parámetros de diseño en planta y alzado no están fuera de los permisibles, salvo indicar que, dentro de la longitud de trazo, existen 5 tramos que pertenecen a alineaciones curvas, que disminuyen la velocidad del trayecto en esos tramos.
13. La cartografía digital del terreno puede llegar a tener error de 30 m., sin embargo, se utilizó para realizar el trazo conceptual y demostrar que se puede trazar una vía donde los trenes tengan mayor velocidad.
14. La velocidad de diseño fue de 120 km/h. De acuerdo a normativa el valor mínimo de ADIF (2011), es 140 km/h, esto dentro del software reajusta algunos valores del trazado, sin embargo, podría proyectarse un ferrocarril con una velocidad de diseño superior.
15. Los trazos conceptuales de los túneles helicoidales demuestran que son soluciones ideales para ganar altura.
16. El software utilizado, Istram, es bastante bondadoso para los más 266 kilómetros tratados, es rápido en el cálculo y su plataforma no es difícil de manejar.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de demanda basados en la elección de los usuarios aportaría a la planificación correcta del transporte, en consecuencia, permitirían adecuar la oferta y así se realizarían proyectos prioritarios e importantes que aporten al desarrollo del Perú.
2. Se propone realizar investigaciones de modelos de demanda del transporte donde se realice el diseño de experimentos con dependencia de atributos para fines académicos.
3. Se debe promover el desarrollo de proyectos de investigación sobre modelos de demanda desagregados aplicados a los diferentes modos de transporte.
4. Se recomienda utilizar y analizar otras variables para estudios experimentales de modelos de desagregados con fines académicos, debido a que para la toma de decisiones de proyectos de infraestructura se analizan las variables tiempo y costo.
5. Se recomienda estudiar variables como tiempo de espera, tiempo de traslado a punto de viaje con encuestas de preferencias declaradas.
6. Se recomienda realizar estudios con otros tipos de modelos econométricos avanzados (modelo logit multinomial, probit, etc.).
7. Se recomienda realizar nuevas investigaciones con Preferencias Declaradas que incluyan procesos como las reuniones focales y de ser posible incluir nuevos procesos para la obtención de atributos.
8. Se recomienda realizar nuevos estudios con el fin de obtener y analizar los precios sociales para así promover nuevos proyectos que sean de gran beneficio.
9. Se recomienda realizar encuestas de preferencias declaradas en usuarios que utilicen el avión como modo de transporte, esto podría distribuir de manera diferente el motivo de viaje.
10. Se propone analizar la posibilidad de construir la infraestructura ferroviaria para el Ferrocarril Central Andino.

11. Se recomienda utilizar Istram para proyectos de ingeniería civil, proyectos de gran envergadura, en especial ferrocarriles.
12. Se recomienda realizar estudios para partir adecuadamente la demanda; se podría emplear ferrocarriles para la movilidad de pasajeros, y carga en distancias medianas y largas, y los buses para movilizar pasajeros en distancias cortas, de alguna manera esto repercutiría en la aumentar la vida útil en los pavimentos.
13. Se recomienda actualizar el Reglamento Nacional de Ferrocarriles.
14. Se recomienda proyectar ferrocarriles con mayor velocidad.
15. Se recomienda tener como opción la proyección de túneles helicoidales y realizar estudios definitivos para ganar altura en proyectos viales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. (2011). *Instrucciones generales para proyectos de plataforma*. (Tomo III, Versión 2). Obtenido de [https://www.seguridadferroviaria.es/recursos\\_aesf/5F9F52B7-F42B-44AB-98FD-ED2074F977FA/144029/013IGP2011v2\\_AESF.pdf](https://www.seguridadferroviaria.es/recursos_aesf/5F9F52B7-F42B-44AB-98FD-ED2074F977FA/144029/013IGP2011v2_AESF.pdf)
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. (2012). *Infraestructuras y Estaciones*. Obtenido de ADIF: <http://www.adif.es>
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. (2018). *Túneles*. (1a Ed). Norma ADIF Plataforma.
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. (2021). *Metodología para el diseño del trazado ferroviario*. (1a Ed). Norma ADIF Plataforma.
- Alvarez, C. (2009). *Modelación de la elección de modo y hora de salida ante pico y placa combinado con peaje urbano*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70215>
- American Railway Engineering and Maintenance of Way Association. (2019). *Manual for Railway Engineering*. Obtenido de AREMA: <https://www.arema.org/>
- Arellana, J. A., Ortúzar, J. d., & Rizzi, L. I. (2011). Diseño Experimental de PD con Dependencia entre Niveles de Atributos: Aplicación a Modelos de Elección de Horario de Viajes. *Ingeniería de Transporte*, 15, 15-27.
- Bonifaz Fernández, J. L. (2000). *Cálculo de los Precios Sociales: El Valor Social del Tiempo*. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico.
- Calmet, D., & Capurro, J. M. (Marzo de 2011). El tiempo es dinero: Cálculo del valor social del tiempo en Lima Metropolitana para usuarios de transporte urbano. (B. C. Perú, Ed.) *Estudios económicos*, 73-86.
- Casapia, G. (2015). Carretera o Ferrocarril: ¿Qué modo de transporte usar? Lima: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/gcasapia-tt.pdf>

- Cassabone, C. (Octubre de 2017). Túnel Presidente Balta. *ExpoConvial 2017*. Lima, Perú.
- Castro Arenas, M. (2009). *Calibración de un modelo de elección discreta logit con restricción del conjunto de alternativas*. [Tesis de Postgrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102178>
- Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico. (Noviembre de 2012). *El valor social del tiempo*. Obtenido de Ministerio de Economía y Finanzas: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/parametros\\_evaluacion\\_social/Valor\\_Social\\_Tiempo.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/parametros_evaluacion_social/Valor_Social_Tiempo.pdf)
- Contreras, C. (Ed.). (2011). *Compendio de Historia Económica del Perú IV: Economía de la primera centuria independiente*. (1a Edición ed.). Lima, Perú: Lima.
- Contreras, C. (Ed.). (2014). *Compendio de historia económica V: la economía peruana entre la gran depresión y el reformismo* (1ra Edición ed.). Lima, Perú: Lima.
- De Rus, G., Campos, J., & Nombela, G. (2002). *Economía del Transporte*. Barcelona: Antoni Bosch editor.
- Doble vía. (Setiembre de 2007). *Introducción a las curvas espirales de transición*. Obtenido de Doble Vía: <https://doblevia.wordpress.com/2007/09/03/curvas-espirales-de-transicion/>
- Domencich, T., & McFadden, D. L. (1975). *Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis*. North Holland Publishing Co.
- Empresa Nacional de Ferrocarriles del Perú. (Setiembre de 1999). *Ferrocarril del Centro*. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/concesiones/ferrovias/ferrocarril\\_centro.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/concesiones/ferrovias/ferrocarril_centro.html)
- Espino, R., Ortúzar, J. d., & Román, C. (2004). Diseño de preferencias declaradas para analizar la demanda de viajes. *Estudios de Economía Aplicada*, 22(3), 759-793. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/28134375\\_Disenio\\_de\\_preferencias\\_declaradas\\_para\\_analizar\\_la\\_demanda\\_de\\_viajes](https://www.researchgate.net/publication/28134375_Disenio_de_preferencias_declaradas_para_analizar_la_demanda_de_viajes)

- Esvelde, C. (2001). *Modern Railway Track* (2a ed.). MRT-Productions. Delft University of Technology.
- Garrido H., R., & Ortúzar Salas, J. d. (1991). Evaluación de técnicas de recolección de datos sobre preferencias declaradas. *V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte* (págs. 321-334). Santiago: Universidad de Chile. Obtenido de <https://sochitrان.cl/static/upload/archivos/sochitrان/4186/6/1463170896.pdf>
- Guerrero Fernández, J. A. (2017). *Ingeniería de Vías Férreas* (1a ed.). Lulu.
- Ibeas, Á., Gonzales, F., Dell'Olio, L., & Moura, J. (2015). *Manual de Encuestas de Movilidad* (1a ed.). Universidad de Cantabria.
- Jiménez G., P. (Febrero de 2018). *Curso de Ferrocarriles*. Obtenido de OCW Universidad Politécnica de Cartagena: <https://ocw.bib.upct.es/>
- Kocur, G. T., Adler, T., Hyman, W., & Aunet, B. (1982). *Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment*. U.S. Department of Transportation. Urban Mass Transit Administration.
- Kroes, E. P., & Sheldon, R. J. (Enero de 1988). Stated Preference Methods: An Introduction. *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 11-25. doi:10.2307/20052832
- López Pita, A. (2010). *Infraestructuras Ferroviarias* (2a ed.). Ediciones UPC.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). *Stated Choice Methods: Analysis and Application*. Cambridge University Press.
- Manski, C. F. (Julio de 1977). The structure of random utility models. *Theory and Decisión*, 8, 229-254. doi:10.1007/BF00133443
- Manski, C. F., & McFadden, D. L. (1981). *Structural Analysis of Discrete Data and Econometric Applications*. The MIT Press. Obtenido de <https://eml.berkeley.edu/~mcfadden/discrete.html>
- Márquez, L., & Monsalve, H. J. (2009). Modelo de demanda para un tren de pasajeros entre Tunja y Bogotá. *Revista de Ingeniería* 48, 16-24. doi: <http://dx.doi.org/10.16924%2Friua.v0i30.223>

- McFadden, D. (Noviembre de 1974). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*, 3, 303-3208. doi:10.1016/0047-2727(74)90003-6
- Ministerio de Cultura. (Mayo de 2019). *Ferrocarril Central del Perú*. Obtenido de Sitios del Patrimonio Mundial del Perú: <https://patrimoniomundial.cultura.pe/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *Reglamento Nacional de Ferrocarriles*. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_ferrocarriles/reglamentos.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_ferrocarriles/reglamentos.html)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Resumen ejecutivo: Estudio de Pre Inversión a nivel de perfil del proyecto "Construcción del Túnel Trasandino"*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Informes y publicaciones/Transporte*. Obtenido de Portal MTC: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Junio de 2018). *Visión de desarrollo de la infraestructura vial*. Obtenido de Colegio de ingenieros del Perú: <http://www.cip.org.pe/publicaciones/2018/vision-de-desarrollo-de-la-infraestructura-vial.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Mayo de 2019). *Competitividad Ferroviaria en el Perú*. Obtenido de Cámara de comercio e industria Peruano-Alemana, AHK Perú: [https://peru.ahk.de/fileadmin/AHK\\_Peru/02\\_Competitividad\\_Peru\\_Ferrovuario MTC.pdf](https://peru.ahk.de/fileadmin/AHK_Peru/02_Competitividad_Peru_Ferrovuario MTC.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2022). *Estadísticas MTC - Transportes*. Obtenido de Portal MTC: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/colecciones/1871-estadisticas-mtc-transportes>
- Muñoz, C., Pineda Uribe, B. E., & Margarita Rosa, G. (2022). Modelo econométrico para el análisis de la elección de modo de transporte en viajes domésticos: el rol de las variables latentes. *Lecturas de economía*, 145-169.

- Newton de Valdivieso, L. (Junio de 2010). Ferrocarriles y Tranvías del Perú. *Puente, Ingeniería, Sociedad*(17), 12-17.
- Oliveros Rives, F. (1977). *Tratado de Ferrocarriles I*. Editorial Rueda.
- Oliveros Rives, F. (1980). *Tratado de Ferrocarriles II*. Editorial Rueda.
- Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte. (2022). *Informe de desempeño 2022 - Concesión del Ferrocarril del Centro*. Vías Férreas. Obtenido de <https://www.ositran.gob.pe/anterior/vias-ferreas/ferrocarril-del-centro/>
- Ortúzar, J. d. (2000). *Modelos de demanda de Transporte* (2a ed.). Editorial Alfaomega.
- Ortúzar, J. d. (2000b). *Modelos econométricos de elección discreta*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Ortúzar, J. d., & Román, C. (2003). El problema de modelación de demanda desde una perspectiva desagregada: el caso del transporte. *EURE*, 29(88), 149-171. doi: 10.4067/S0250-71612003008800007.
- Ortúzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2008). *Modelos de Transporte*. PubliCan-Ediciones de la Universidad de Cantabria.
- Ortuzar, J. d., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (4a ed.). John Wiley & Sons, Ltd.
- Paz Soldan, M. (1865). *Atlas Geográfico del Perú*. Paris: Fermin Didot.
- Pennano, G. (1979). Desarrollo regional y ferrocarriles en el Perú:1850-1819. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*(9), 131-150.  
doi:<https://doi.org/10.21678/apuntes.9.154>
- Pyrgidis, C. N. (2016). *Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation*. CRC Press.
- Raturi, V., & Verma, A. (2019). Competition between High Speed Rail and Conventional Transport Modes: Market Entry Game Analysis on Indian Corridors. *Networks and Spatial Economics*, 763-790. doi:<https://doi.org/10.1007/s11067-018-9421-2>
- Regal, A. (1965). *Historia de los Ferrocarriles de Lima*. Instituto de Vías de Transporte.

- Regau, J. A. (1965). *Curso de Ferrocarriles* (4a ed.). Lima: UNI.
- Ruano, G. A. (2007). *Las líneas de Alta Velocidad frente a las convencionales. Adaptación de las líneas convencionales a Velocidad Alta*. [Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPCommons. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/5938>
- Sælensminde, K. (2006). Causes and consequences of lexicographic choices in stated. *Ecological Economics*, 331-340.
- Soler Martínez, M. (2016). *Diseño de escenarios para la obtención de preferencias declaradas*. [Trabajo final de Máster, Universitat Jaume I]. Repositori UJI. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10234/165962>
- Spear, B. (1977). *Applications of New Travel Demand Forecasting Techniques to Transportation Planning: a Study of Individual Choice Models*. Federal Highway Administration, Departament of Transportation. Washington: Government Printing Office, Washington, D.C.
- Thurstone, L. L. (1927). A law of comparative judgement. *Psychological Review*, 34, 273-286. doi:10.1037/h0070288
- Videla Cruz, J. I., Vera, J., & Vejar, L. G. (1993). Percepción de los pasajeros del transporte ferroviario y carretero: un modelo de elección modal. *VI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte – Sectra*, (págs. 19-33). Santiago.
- Williams, H. W. (1977). On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit. *Environment and Planning*, 9, 285-344. doi:10.1068/a090285
- Wulansari, D., & Astari, M. (July de 2018). Mode choice analysis using discrete choice model from transport user (Case study: Jakarta LRT, Indonesia). *MATEC Web Conferences*, 181(03001). doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201818103001>

## ANEXOS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo A. Desarrollo ferroviario .....                               | 1  |
| Anexo B. Mapa de Exploración de cuatro vías entre Lima y Jauja..... | 4  |
| Anexo C. Diseño geométrico de vías férreas y normativa.....         | 5  |
| Anexo D. Plano de planta Túnel Presidente Balta.....                | 20 |
| Anexo E. Secciones de túneles .....                                 | 21 |
| Anexo F. Planes Maestro Kocur .....                                 | 24 |
| Anexo G. Encuesta de Preferencias Declaradas. ....                  | 25 |
| Anexo H. Generación de cartografía digital ISTRAM. ....             | 28 |
| Anexo I. Corte y relleno. ....                                      | 32 |
| Anexo J. Parámetros sugeridos por Istram. ....                      | 33 |
| Anexo K. Peralte y velocidad obligado.....                          | 34 |
| Anexo L. Plantillas de cálculo. ....                                | 35 |
| Anexo M. Base de datos codificada de encuestas explotadas.....      | 37 |
| Anexo N. Estimación de parámetros en R. ....                        | 41 |
| Anexo O. Listado de alineaciones en planta .....                    | 42 |
| Anexo P. Listado de Rasantes.....                                   | 47 |
| Anexo Q. Listado de características geométricas de la vía. ....     | 49 |
| Anexo R. Planos. ....                                               | 53 |

## **Anexo A. Desarrollo ferroviario**

### ***Ferrocarriles en el mundo***

La Revolución Industrial a principios de los años 1800, en Europa, generó las nuevas necesidades para transportar rápida y eficientemente la materia prima, fue entonces que la máquina a vapor creada para bombear agua fue adaptada por el ingeniero inglés Richard Trevithick para que tirara de una locomotora que se movilizaba sobre madero-carriles de acero (Newton de Valdivieso, 2010).

Los hechos más sobresalientes del nacimiento del ferrocarril iniciaron con el Ing. Trevithick (1771 – 1833), que construyó una locomotora para el arrastre de carros sobre madero-carriles. Esta máquina se estrenó en Inglaterra, pesaba 5 toneladas y podía remolcar 25 toneladas a una velocidad de 6.5 km/h (Regal, 1965).

En 1814, el Ing. Jorge Stephenson (1781 – 1848), construyó una locomotora para el servicio de minas de carbón en su país, en Killinworth, la cual significó el primer diseño que bosquejaba a las actuales locomotoras. Esta máquina remolcaba 8 vagones con 30 toneladas de peso a una velocidad de 6 a 7 km/h. Las pendientes llegaban hasta 0.25 % (Regal, 1965). Pocos años después, en 1821, Stephenson construyó una vía férrea de 40 km de longitud que unió las ciudades de Stockton y Darlington. En esta vía corrían trenes a vapor y carros halados por caballerías, fue este el primer ferrocarril en el mundo de tráfico mixto.

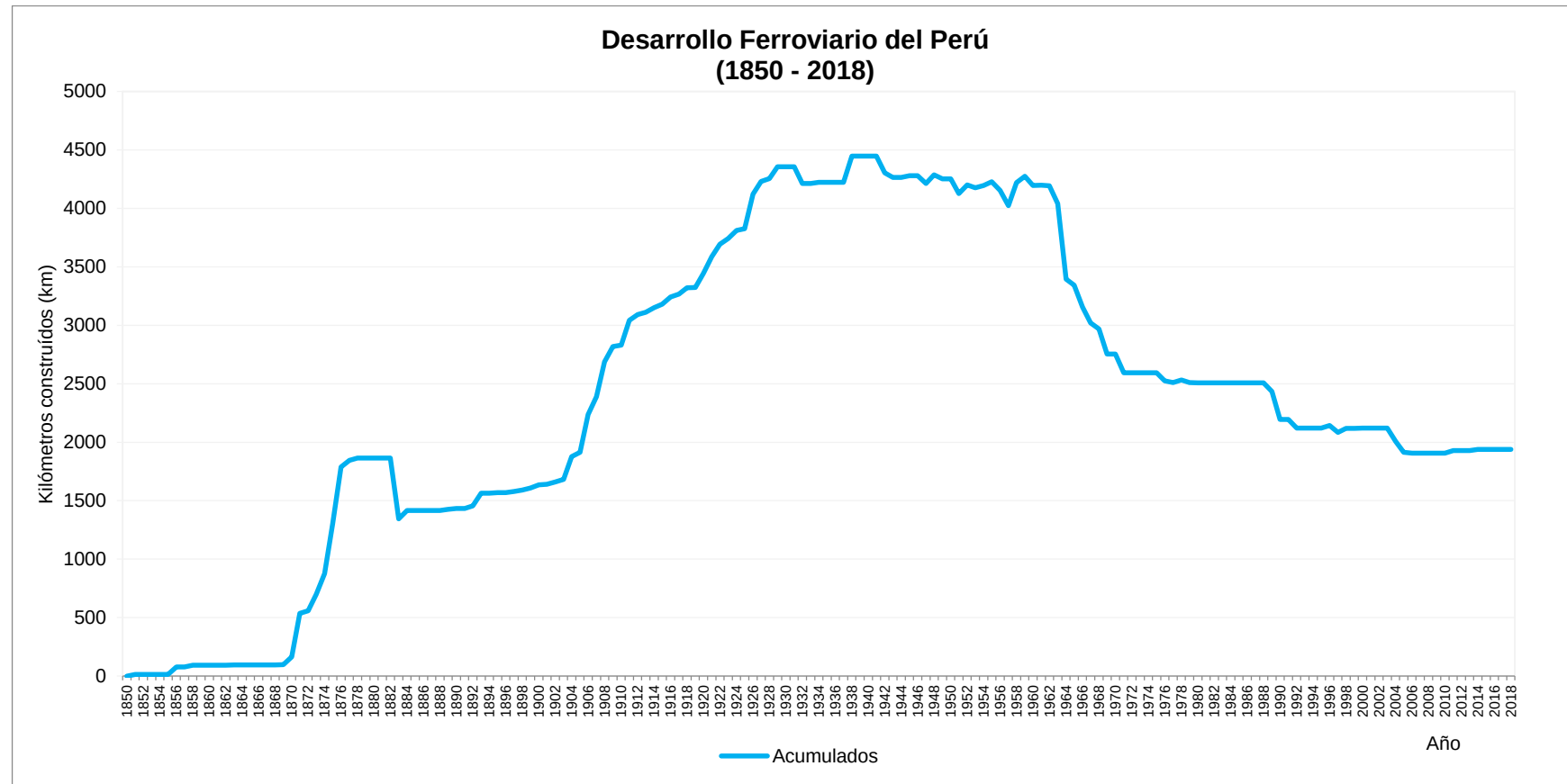
En el año 1829, Stephenson participó de un concurso donde desarrolló una locomotora a vapor de velocidad 45 km/h. Por consideración histórica la locomotora a vapor tiene como nacimiento el año de 1830, ya que para ese año se utilizaron principios mecánicos y de explotación comercial de la vía férrea entre Manchester y Liverpool, en un tramo de 80 km. (Regal, 1965).

Mientras en Sudamérica, de acuerdo a lo que comenta Regal (Historia de los Ferrocarriles de Lima, 1965), en el Perú nace la primera ley ferroviaria de Sudamérica en el año de 1826, nueve años más tarde en Brasil promulgaron una resolución relacionado a ferrocarriles, hubo tentativas para construir estos, sin embargo, no contaban con recursos financieros suficientes. Por otro lado, en 1848, el gobierno chileno otorgó una concesión para construir un ferrocarril que uniera las ciudades de Copiapó y el puerto de Caldera, tampoco prosperó debido

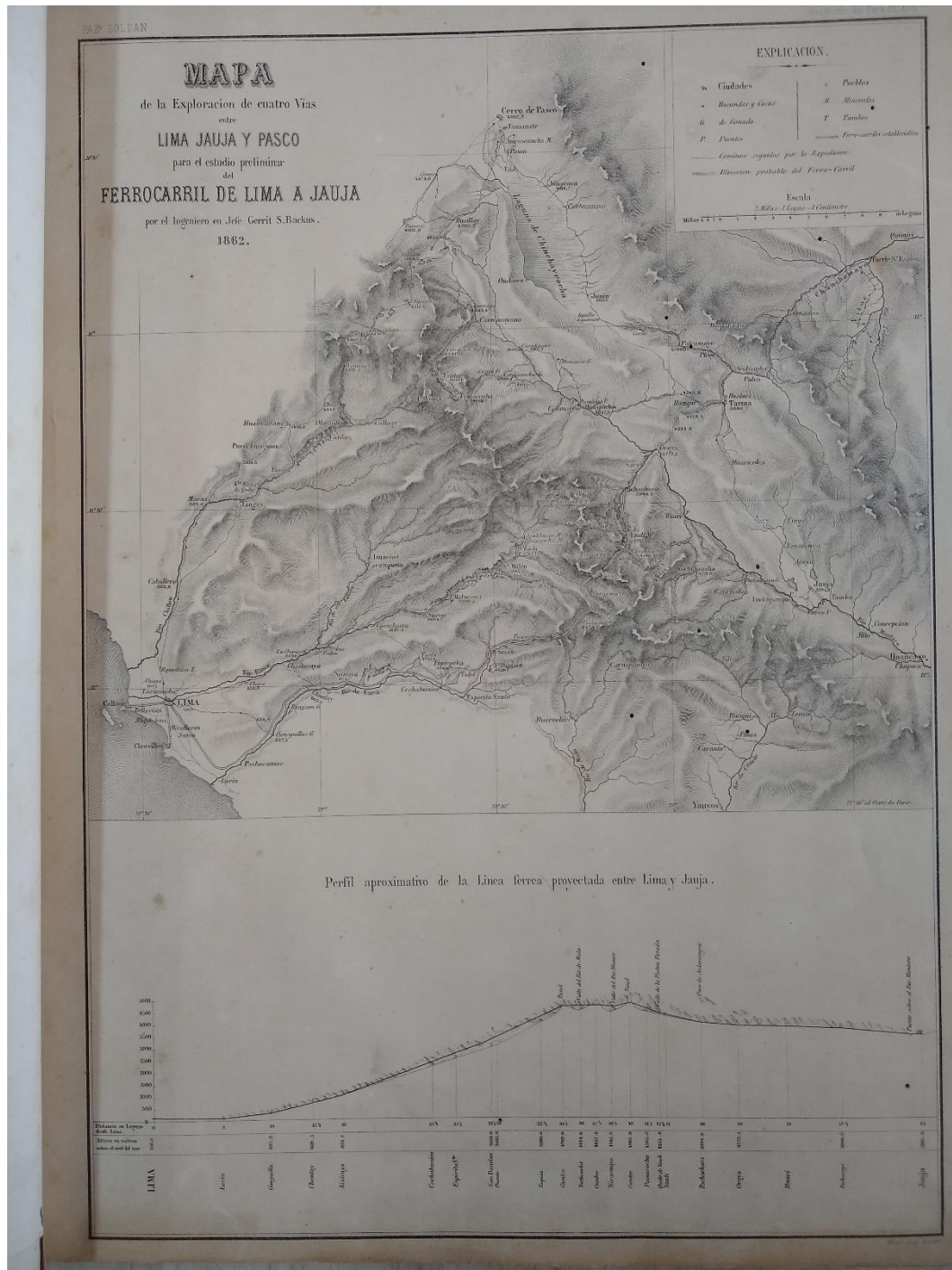
a razones económicas por parte del concesionario. Dos años después, el gobierno de Chile inició la construcción del ferrocarril mencionado.

Por último, en Argentina en el año 1853, se presentó un proyecto ferroviario que fue aprobado al año siguiente. Así fue como se iniciaron los ferrocarriles en el mundo y Sudamérica.

## Desarrollo ferroviario del Perú



## Anexo B. Mapa de Exploración de cuatro vías entre Lima y Jauja



Fuente: Atlas Geográfico del Perú (Paz Soldan, 1865)

Fotografía capturada en la Biblioteca de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Artes – UNI, con permiso del personal de trabajo de la biblioteca.



- Alineación recta

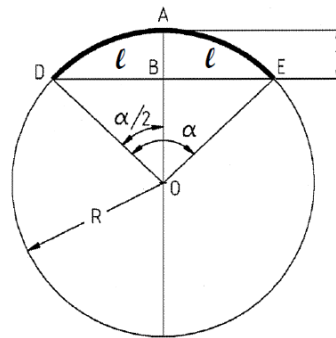
Son aquellas que en el plano horizontal se representan por una recta; el trazado recto resulta ideal para ferrocarriles, debido a que se obtiene una distancia corta entre dos puntos ubicados en una superficie terrestre. A mayor cantidad de alineaciones rectas se tendrá un tiempo menor en el itinerario de viaje por ferrocarril (Oliveros Rives, 1977).

- Curvas Circulares

Son aquellas que en un plano horizontal se representan por una curva; en el trazado de ferrocarriles estas alineaciones se caracterizan por su radio y grado de curvatura (Oliveros Rives, 1977).

Las curvas generadas por los radios dependen de la velocidad del proyecto ferroviario. Los trenes al circular por las curvas se someten a una serie de perturbaciones que se traducen en un suplemento de las resistencias que vence el tren.

Las curvas cuanto más amplias permiten obtener mayor velocidad siempre y cuando lo permita la configuración del terreno.



Curvas circulares.

Fuente: Curso de Ferrocarriles (Jiménez G., 2018)

De la imagen anterior, Curvas circulares, la relación entre el radio y la flecha de un arco ( $f$ ) de circunferencia ( $f$  es muy pequeña comparada con  $R$  utilizado en ferrocarriles) se llega a deducir que:

$$R = \frac{l^2}{2f} \quad (C.1)$$

Y el grado de curvatura:

$$D = \frac{1746}{R} \quad (C.2)$$

Donde,  $D$  es el grado de curvatura, en grados sexagesimales, y  $R$  es el radio en metros.

En la práctica no es posible medir directamente el radio o grado de las curvas, por lo que su magnitud se determina midiendo la flecha  $f$  que se produce en la circunferencia para una determinada cuerda  $C(2l)$ .

$$D = 15f \quad (C.3)$$

Para tener una representación gráfica manejable e ilustrativa de las características de las curvas a estudiar, se emplea el método de establecer diagramas de curvaturas y de flechas.

Estos diagramas se obtienen representando en un eje de coordenada la línea cuyas ordenadas sean los valores de la flecha o curvatura del eje de la vía.

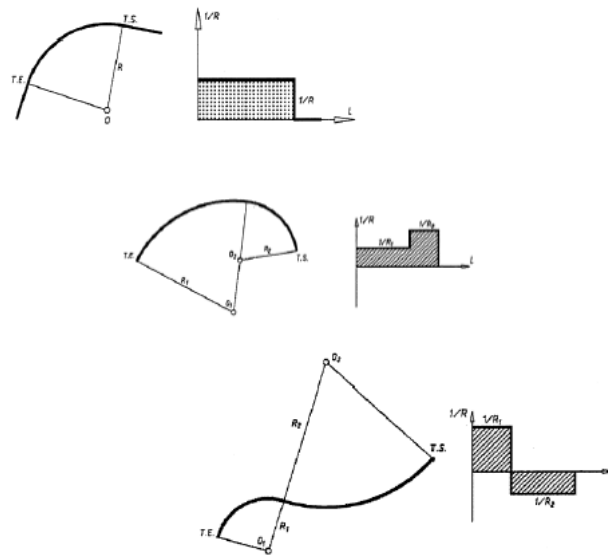
$$f = \frac{1}{8} * n * C^2 \quad (C.4)$$

La ecuación anterior muestra la relación entre la flecha y curvatura, siendo  $n$  la curvatura.

La flecha y la curva circular son directamente proporcionales, los diagramas que se representan para ambos son semejantes, solo varía la escala en el eje de las ordenadas.

Además, existen diferentes tipos, las curvas sencillas, definidas por un radio y se encuentran entre dos alineaciones rectas, las curvas compuestas en un mismo sentido y las curvas compuestas de sentidos contrarios, ambas están formadas por diferentes radios de curvatura, pero de diferente sentido (Oliveros Rives, 1977).

En la siguiente imagen, se muestra los tipos de curvas (sin transiciones) y con sus diagramas de curvatura.



Tipos de curvas circulares.

Fuente: Curso de Ferrocarriles (Jiménez G., 2018)

- **Curvas de Transición**

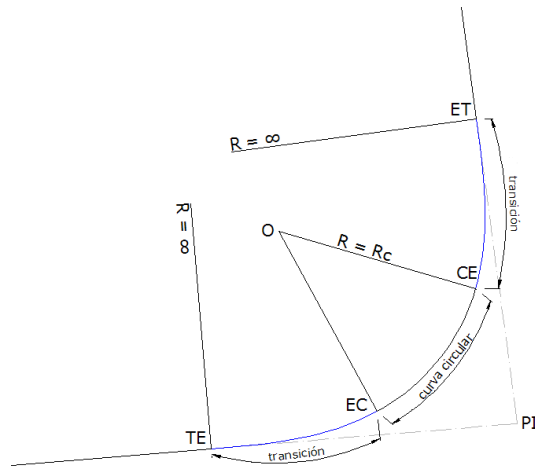
Son curvas que enlazan una alineación recta con una curva circular, o también dos curvas circulares de diferente radio. Sus funciones son:

- Mejorar la necesidad de transición al peralte.
- Cambiar de manera gradual las entradas y salidas de las curvas.
- Permitir el cambio progresivo del peralte.

Entre las curvas de transición que más se usan para la unión de una alineación tangente están: la Clotoide, Lemniscata de Bernoulli y la Espiral cúbica.

La que más se utiliza en transición es la Clotoide por su facilidad de replanteo en el terreno, y al estar en correspondencia con la rampa uniforme del peralte experimenta un crecimiento lineal de la aceleración y fuerza centrífuga sin compensar.

En la imagen, Curva de Transición, se puede ver que: TE (Tangente – Espiral), EC (Espiral – Circular), CE (Circular – Espiral) y ET (Espiral – Tangente).



Curva de transición.

Fuente: Doble vía (Introducción a las curvas espirales de transición, 2007)

El radio de curvatura en un punto determinado de la espiral es inversamente proporcional a la longitud recorrida desde el punto de inicio (TE) de la clotoide.

$$A^2 = R \cdot L \quad (C.5)$$

Donde A es el parámetro de la clotoide.

#### b) Trazado en Alzado

Llamado también perfil longitudinal; las alineaciones en alzado también están constituidas por rectas y curvas ya que la vía férrea sigue un alineamiento en el espacio y no sobre una superficie esférica.

- Alineación recta

Las alineaciones rectas en alzado se grafican sobre el plano rectificante como un arco de espiral y se caracterizan en el perfil por su longitud y por la inclinación de su plano tangente en cada punto.

- Alineación curva

Las alineaciones curvas en alzado enlazan las rasantes de pendientes diferentes.

Las alineaciones en alzado también deben adaptarse al terreno, para poder cumplir con varias características respecto al trazado, sin embargo, en la práctica esto no ocurre porque se encuentra diferentes restricciones como el terreno,

| Location           | Elevation (m) |
|--------------------|---------------|
| Vigo               | 46            |
| Ribeira            | 32            |
| Galicia            | 17            |
| 1,262              |               |
| 1,214              |               |
| 79                 |               |
| 118                |               |
| 124                |               |
| ORENSE             |               |
| 1141               |               |
| 258                |               |
| Monforte           |               |
| 31                 |               |
| CORUNA             |               |
| 305                |               |
| 100                |               |
| betanzos           |               |
| 278                |               |
| 514                |               |
| Curtis             |               |
| 212                |               |
| 450                |               |
| LUGO               |               |
| 167                |               |
| 588                |               |
| Ourense            |               |
| 141                |               |
| 258                |               |
| Monforte           |               |
| 446                |               |
| Puebla de Bragança |               |
| 131                |               |
| 245                |               |
| San Clodio         |               |
| 1114               |               |
| 1078               |               |
| Arco de Valderas   |               |
| 323                |               |
| 0031               |               |
| Pontevedra         |               |
| 997                |               |
| 992                |               |
| 985                |               |
| 965                |               |
| 813                |               |
| Astorga            |               |
| 923                |               |
| 923                |               |
| 503                |               |
| 821                |               |
| LEON               |               |
| 860                |               |
| El Burgo-Rameros   |               |
| 880                |               |
| 780                |               |
| PALENCIA           |               |
| 740                |               |
| 854                |               |
| BURGOS             |               |
| 912                |               |
| Gutierrezgalla     |               |
| 685                |               |
| 668                |               |
| 595                |               |
| Miranda            |               |
| 462                |               |
| LOGRONO            |               |
| 384                |               |
| Castellón          |               |
| 274                |               |
| 477                |               |
| 358                |               |
| ZARAGOZA           |               |
| 204                |               |
| 297                |               |
| Tudencia           |               |
| 361                |               |
| 166                |               |
| Vineia             |               |
| 450                |               |
| 128                |               |
| 92                 |               |
| Valls              |               |
| 228                |               |
| 0                  |               |
| BATLLONA-Sans      |               |

### Características en relación a la función de vía

- Peralte

El peralte es la diferencia de cotas entre el carril exterior y el carril interior de una vía en una curva. El valor del peralte se obtiene mediante el cambio gradual de recta a curva.

El peralte tiene varias funciones, las principales son: compensación parcial o total del efecto de la fuerza centrífuga, mejor distribución de las cargas en ambos carriles, elevar el confort a los usuarios, disminución de la degradación y desgaste de los carriles y el material rodante (Oliveros Rives, 1977).

- **Fuerza Centrífuga.** Es la fuerza que aparece en el punto de cambio de alineación recta a curva, que es originado por la aceleración centrífuga y masa del cuerpo en movimiento. Las expresiones para la aceleración y fuerza centrífuga son:

$$\gamma = \frac{V^2}{R} \quad (C.6)$$

$\gamma$  = aceleración centrífuga ( $\text{m/s}^2$ )

$V$  = velocidad del vehículo ( $m/s^2$ )

$R$  = radio de la curva (m)

$$F = \frac{W \cdot V^2}{g \cdot R} \quad (C.7)$$

$F$  = Fuerza centrífuga (N)

$W$  = Peso del vehículo ( $kg \cdot m/s^2$ )

- Peralte Teórico ( $h_0$ ). Es el obtenido considerando nula la fuerza centrífuga (Ruano, 2007).

$$h_0 = \frac{s}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \quad (C.8)$$

Donde:

$s$  = distancia entre ejes de los carriles en el plano de rodadura (m)

$V$  = velocidad de del vehículo ( $m/s^2$ )

$g$  = aceleración de la gravedad

$R$  = radio de curvatura (m)

$h_0$  = peralte teórico (m)

Considerando el ancho de vía internacional (1.435 m):

$$h_0 = 11.8 \cdot \frac{V^2}{R} \quad (C.9)$$

- Peralte Práctico ( $h_p$ ). El Peralte práctico es una fracción del peralte teórico. Existen diversos criterios, por ejemplo, lo ferrocarriles británicos se basan en el límite de la velocidad de la línea, proximidad de reducciones permanentes, intersecciones, lugares de parada, etc. (Oliveros Rives, 1977). De manera práctica se considera:

$$h_p = \frac{2}{3} * h_0 \quad (c.10)$$

- Limitación del peralte

El peralte de la vía en las curvas debe evitar los siguientes problemas:

- ✓ Los esfuerzos transversales que produce la fuerza centrífuga a la entrada y salida de las curvas, unido a los movimientos de lazo, pueden producir el descarrilamiento e incluso el vuelco.
- ✓ La fuerza centrífuga produce un desgaste desigual en los carriles, ya que aumenta la fricción en el interior y tiende a despegar el exterior.
- ✓ Los pasajeros perciben como incomodidad, mareos o molestias, la aceleración no compensada, mientras que, en el transporte de mercancías, el problema es la inestabilidad de la carga debido a esta aceleración.

Como se mencionó en el párrafo anterior, en relación con la comodidad de usuarios, influyen negativamente las aceleraciones y su variación en el tiempo.

De acuerdo a las experiencias, en Europa, América y Asia, se puede indicar que el valor del peralte máximo en los diferentes ferrocarriles está comprendido aproximadamente en el intervalo de 1/9 y 1/12 del ancho de vía (Oliveros Rives, 1977).

- Insuficiencia del Peralte

Es la diferencia entre el peralte teórico y el peralte práctico. Esto se debe a que el peralte práctico solo compensa una parte de la fuerza centrífuga ( (Ruano, 2007), (Oliveros Rives, 1977))

$$I_p = s * \frac{a_{sc}}{g} \quad (C.11)$$

$I_p$  = Insuficiencia del peralte (mm)

$s$  = distancia entre ejes de los carriles en el plano de rodadura (mm)

$a_{sc}$  = aceleración centrífuga sin compensar ( $m/s^2$ )

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Los límites de la insuficiencia del peralte o la aceleración sin compensar vendrán dados por: confort del pasajero, ripado de la vía, descarrilamiento y vuelco del vehículo.

- Aceleración transversal soportada por el usuario

Esta aceleración, aunque relacionada con la insuficiencia de peralte, no es calculable directamente si no se conoce el valor del coeficiente de mayoración que se debe aplicar a la aceleración sin compensar en rodadura para obtener la que actúa sobre el viajero. Este coeficiente aparece como consecuencia del efecto de flexibilidad transversal de las suspensiones de los vehículos (Oliveros Rives, 1977).

- Exceso de peralte

Es la situación que se produce cuando el tren circula a menor velocidad que la velocidad de equilibrio del peralte. En este caso la aceleración centrífuga causada por la velocidad del tren en la curva es menor que la que el peralte es capaz de compensar, por lo tanto, hay una aceleración no compensada dirigida hacia el interior de la curva. La aceleración transversal resultante será igual a la aceleración centrífuga menos la aceleración que compensa el peralte.

- Velocidad máxima admisible en función del radio y peralte

La velocidad máxima depende de las características del vehículo y de la vía. Así como el peralte no debe superar un valor máximo y la aceleración sin compensar se debe mantener por debajo a otro valor, claro está que para una curva de radio R, también se puede obtener un valor para la velocidad máxima admisible. La expresión está dada por:

$$V_{MÁX} = \sqrt{R * \left(\frac{h_2}{s} * g + a_{sc}\right)} \quad (C.12)$$

Donde:

s = distancia entre ejes de los carriles en el plano de rodadura (mm)

$a_{sc}$  = aceleración centrífuga sin compensar (m/s<sup>2</sup>)

$h_2$  = peralte máximo admitido (m)

R = radio de curvatura (m)

- Sobreancho de vía

El sobreancho de vía es realizado para una mejor circulación del material rodante en una curva de radio reducido. Esto previene las acciones de las fuerzas laterales excesivas en la vía. El sobreancho es ganado durante el desarrollo de la curva de transición (Oliveros Rives, 1977).

- Entrevía

La entrevía es la distancia medida en dirección transversal entre los ejes de dos vías adyacentes. La entrevía se considera dentro del diseño debido a que puede darse la situación que dos trenes coincidan en la misma sección transversal de vías múltiples (Oliveros Rives, 1977).

- Entrevía en recta

Para el caso de trazado recto en planta, la entrevía puede ser constante al largo de la vía si no es necesario aumentar su valor en algún punto o tramo.

- Entrevía en curva

Los vehículos al circular tramos curvos en vías paralelas invaden el interior de la curva y sus extremos sobresalen hacia el exterior, en consecuencia, disminuye la distancia entre los puntos más salientes de los coches, lo que es indeseable. Este valor, de separación de los extremos salientes del coche respecto al eje de la vía obliga a que se incremente el valor de la entrevía (Oliveros Rives, 1977).

b) Alineación en alzado

- Limitación de inclinación de las rasantes

El valor de la inclinación de las rasantes está limitado por la capacidad de adherencia entre rueda y carril. Esta limitación, en las vías existentes condiciona las características de la explotación, y en el caso de vías nuevas está condicionada por las características que defina la nueva línea (Oliveros Rives, 1977)

- Curvas de transición en alzado (curvas de acuerdo o curvas verticales)

Se emplean para enlazar rasantes diferentes. En algunos casos se utilizan parábolas, pero, generalmente se utilizan arcos de circunferencia, cuyo radio depende de diversos factores entre los cuales están las velocidades máximas de operación, los valores de la inclinación de las rampas a unir y de la magnitud de los movimientos de tierras que se deberá hacer para construirla. Existen los acuerdos cóncavos y los acuerdos convexos.

$$\gamma_v = \frac{V^2}{R_v} \quad (C.13)$$

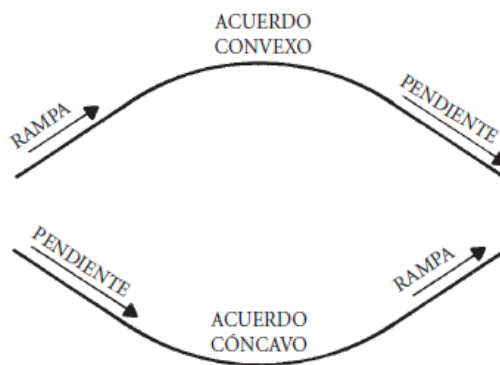
$\gamma_v$  = aceleración en el plano vertical (m/s<sup>2</sup>)

$R_v$  = radio de curvatura en la curva vertical (m)

López Pita (Infraestructuras Ferroviarias, 2010), menciona por criterios de confort del viajero, que el valor de  $\gamma_v$  debería tomar valores situados en el intervalo de 0.2 a 0.4 m/s<sup>2</sup>.

Las curvas verticales introducen una aceleración centrífuga en su plano, que molesta a los viajeros en los acuerdos convexos (Oliveros Rives, 1977).

En la siguiente imagen, se muestra los tipos de acuerdos que existen:



Acuerdos verticales.

Fuente: Infraestructuras Ferroviarias (López Pita, 2010)

### **Calidad geométrica de la vía**

Existen otros parámetros que son los que definen la calidad de la vía tratados de manera independiente ya que no se ha encontrado correlación entre ellos, sin embargo, son necesarios considerarlos en el diseño geométrico.

#### **a) Nivelación longitudinal**

Es el parámetro obtenido a partir de las cotas reales de una vía a lo largo de una determinada longitud.

La diferencia entre la nivelación longitudinal y un nivel teórico de la vía es conocida como defecto de nivelación longitudinal (Oliveros Rives, 1977).

b) Nivelación transversal

Se define como la diferencia entre las cotas de las superficies de los dos carriles de una vía en una sección perpendicular al eje de esta (Ruano, 2007).

c) Ancho de vía

Se define como ancho de vía a la distancia entre las caras internas o activas de dos rieles de una vía férrea. Esta medición se hace a 15.875 mm por debajo de la superficie de rodamiento de los rieles. También conocido como trocha de vía. Existen en diferentes anchos de vía y las causas que en varios países las utilizan es por cuestiones técnicas, motivos económicos y defensivos. (Guerrero Fernández, 2017).

### ***Reglamento Nacional de Ferrocarriles (RNF)***

El Reglamento Nacional de Ferrocarriles es la actual norma técnica que tiene el Perú para el diseño de ferrocarriles, aprobada desde el año 2005. Cuenta con ocho disposiciones, 173 artículos y 5 anexos. Inicialmente se contaba con las “Normas y especificaciones técnicas para el diseño de vías férreas en el Perú”, publicadas en 1978.

Dentro del RNF se encuentran alcances que se pueden destacar para el diseño, por ejemplo:

El artículo N°6 del Reglamento Nacional de Ferrocarriles clasifica las vías del territorio nacional: por ámbito territorial, por titularidad de la empresa y por la máxima velocidad de operación. Ver la siguiente tabla.

Tabla  
*Clasificación de vías por su máxima velocidad de operación*

| Clase de vía | Máxima velocidad de operación permitida |                               |
|--------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
|              | Trenes de mercancías (km/hora)          | Trenes de pasajeros (km/hora) |
| 1            | 16                                      | 24                            |
| 2            | 40                                      | 48                            |
| 3            | 64                                      | 96                            |
| 4            | 96                                      | 128                           |
| 5            | 128                                     | 144                           |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Reglamento Nacional de Ferrocarriles, 2005).  
Elaboración propia.

El artículo N°15, Conformación de la vía férrea, indica que la vía está conformada por la infraestructura y la superestructura de la vía. Se especifica que para el diseño de la vía se debe remitirse a las “Normas y especificaciones técnicas para el diseño de vías férreas en el Perú” de 1978, contradictorio al decreto que la deroga.

Además, de acuerdo al Reglamento Nacional de Ferrocarriles se debe tener en cuenta ciertos criterios relacionados al área que ocupa directamente el ferrocarril (Derechos de los ferrocarriles) y el área que este influenciará.

Según el artículo N°18 del Reglamento Nacional de Ferrocarriles, el Ferrocarril Central Andino debería tener una zona no menor a 5 metros de ancho de uso exclusivo de la vía a cada lado del eje de la vía férrea. Además, debería tener una berma de 2 metros de ancho mínimos en los tramos donde la vía se ha desarrollado en cortes o rellenos.

También, según el artículo N°19 del RNF, la zona de influencia del ferrocarril comprende un área de terreno de ancho de 100 metros a cada lado, y esta es de uso restringido.

En el artículo N°48 se da aspectos técnicos básicos para el diseño de vías férreas, donde mencionan: la obligatoriedad del empleo de la trocha estándar o internacional de 1435 mm para vías nuevas, el enlace entre alineaciones rectas y curvas mediante curvas de transición, el radio mínimo de 150 m para curvas circulares, la distancia mínima de 5 m para la entrevía y la gradiente máxima no mayor a 3.00% en las rectas del perfil.

Tabla  
*Criterios del Reglamento Nacional de Ferrocarriles*

| Límite                                            | Actividades permitidas                                                                                                                              | Cumple |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Desde límite de zona del ferrocarril              | 1. Construir muros, cercos o edificaciones, de altura no mayor de 2,50 metros, sin salida hacia la vía férrea y de material no inflamable.          | NO     |
|                                                   | 2. Construir vías públicas.                                                                                                                         |        |
|                                                   | 3. Hacer zanjas o canales hasta de 3 metros de profundidad, siempre que no comprometan la estabilidad de la vía férrea.                             |        |
|                                                   | 4. Colocar postes y/o torres.                                                                                                                       |        |
|                                                   | 5. Construir o colocar canaletas o tuberías elevadas.                                                                                               |        |
|                                                   | 6. Realizar actividades agropecuarias.                                                                                                              |        |
| Desde 10 m del límite de la zona del ferrocarril  | 1.- Efectuar acopio de materiales, herramientas, equipos y productos relacionados con actividades agropecuarias.                                    | SI     |
|                                                   | 2. Plantar árboles.                                                                                                                                 |        |
|                                                   | 3. Construir muros, cercos o edificaciones hasta de 5 metros de altura con salida hacia la vía férrea.                                              |        |
| Desde 20 m del límite de la zona del ferrocarril  | 1. Efectuar excavaciones con profundidad mayor de 3 metros, siempre que no se utilicen explosivos ni se comprometa la estabilidad de la vía férrea. | SI     |
| Desde 100 m del límite de la zona del ferrocarril | 1. Sin restricciones                                                                                                                                | SI     |

Fuente: Reglamento Nacional de Ferrocarriles (2005). Elaboración propia.

En la Tabla anterior se puede leer los alcances de los dos últimos artículos descritos y también se añade una columna donde se evalúa el cumplimiento.

#### *Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)*

ADIF, es una entidad pública empresarial dependiente del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana en España. ADIF ejerce un papel principal como dinamizador del sector ferroviario, haciendo del ferrocarril el medio de transporte por excelencia y facilitando el acceso a la infraestructura en condiciones de igualdad. Su objetivo es potenciar el transporte ferroviario en España mediante el desarrollo y la gestión de un sistema de infraestructuras seguro, eficiente, sostenible desde el punto de vista medioambiental, y con altos estándares de calidad.

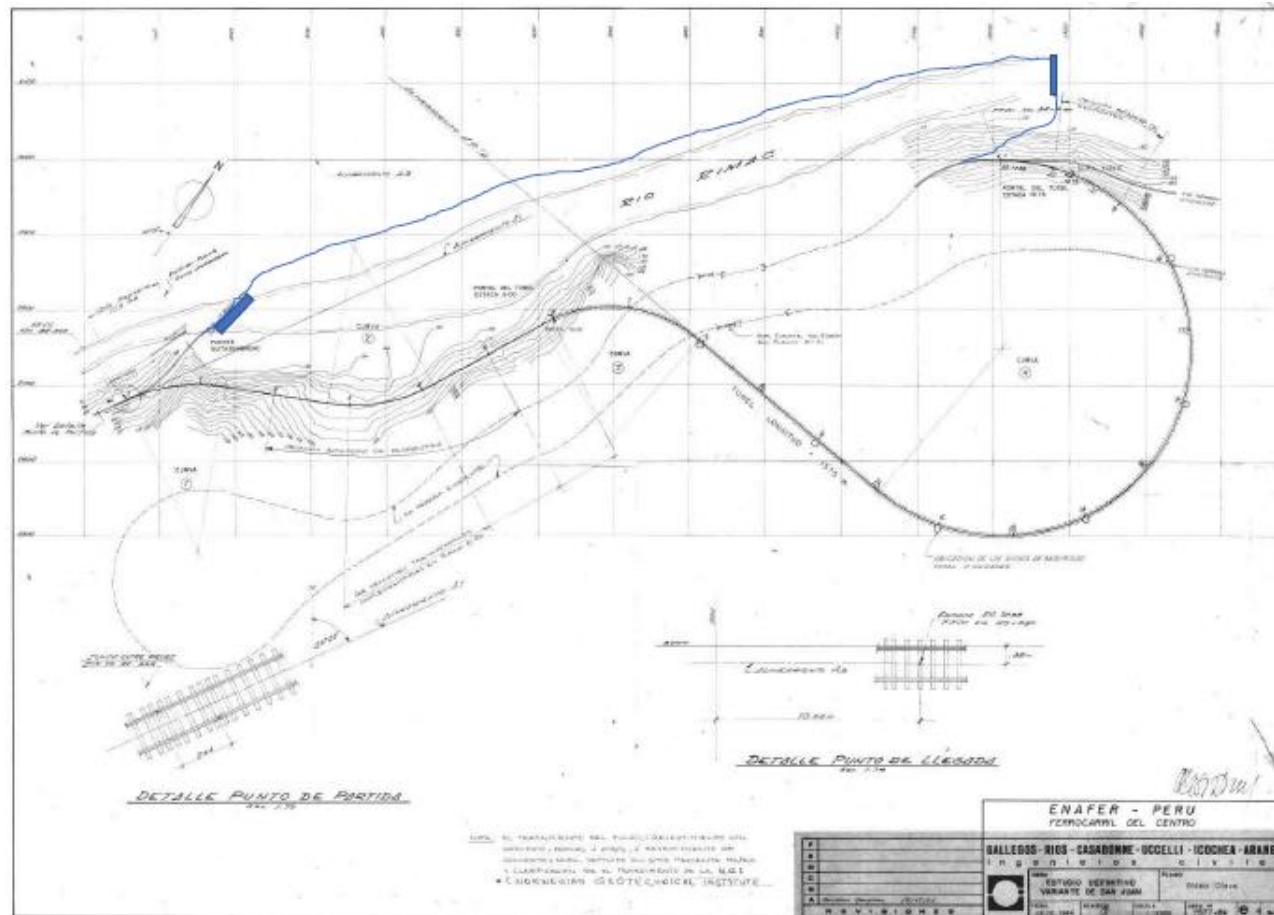
Esta entidad tiene su Normativa Técnica ADIF que contiene especificaciones técnicas referidas a condiciones sobre productos a instalar en vías férreas, y normas que recogen pautas de actuación para el diseño, construcción, explotación o mantenimiento de todos los subsistemas ferroviarios, así como bases de precios y pliegos tipo. Dentro de ellas se encuentran las Instrucciones Generales para los proyectos de Plataforma (IGP) y la Norma ADIF Plataforma (NAP), que a su vez contienen las *Instrucciones y Recomendaciones sobre trazado* (IGP-3) y la *NAP 1-2-0.1*, que contienen metodología, parámetros de diseño para el trazado de vías férreas y consideraciones sobre el trazado. Estas normativas se aplican sobre nuevas líneas y sobre existentes ( (Metodología para el diseño del trazado ferroviario, 2021) & (Instrucciones generales para proyectos de plataforma, 2011)).

*American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association – Manual for Railway Engineering (AREMA)*

AREMA es una organización que promueve el desarrollo y el avance de los conocimientos técnicos y prácticos y las prácticas recomendadas pertenecientes al diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria. La normatividad que tienen es empleada en Estados Unidos y Canadá, sin embargo, también es utilizada en diferentes lugares del mundo y sirve como referencia para las normativas en otros países. “*Manual for Railway Engineering*” es el manual que han desarrollado para infraestructura ferroviaria.

El Manual de Ingeniería Ferroviaria (MRE, siglas en inglés) consta de más de 5.000 páginas de material de referencia de ingeniería ferroviaria, las prácticas recomendadas para la industria. Contiene principios, datos, especificaciones, planos y economía pertenecientes a la ingeniería, diseño y construcción de ferrocarriles (excepto señales y comunicaciones), y servicios e instalaciones afines. El material es desarrollado por los comités técnicos de AREMA y se publica como una guía para que los ferrocarriles establezcan sus políticas y prácticas individuales en relación con los temas, actividades e instalaciones cubiertos en el Manual, con el objetivo de ayudarlos a diseñar y construir una planta ferroviaria que tendrá las cualidades inherentes de una operación segura y económica, así como un bajo costo de mantenimiento (American Railway Engineering and Maintenance of Way Association, 2019).

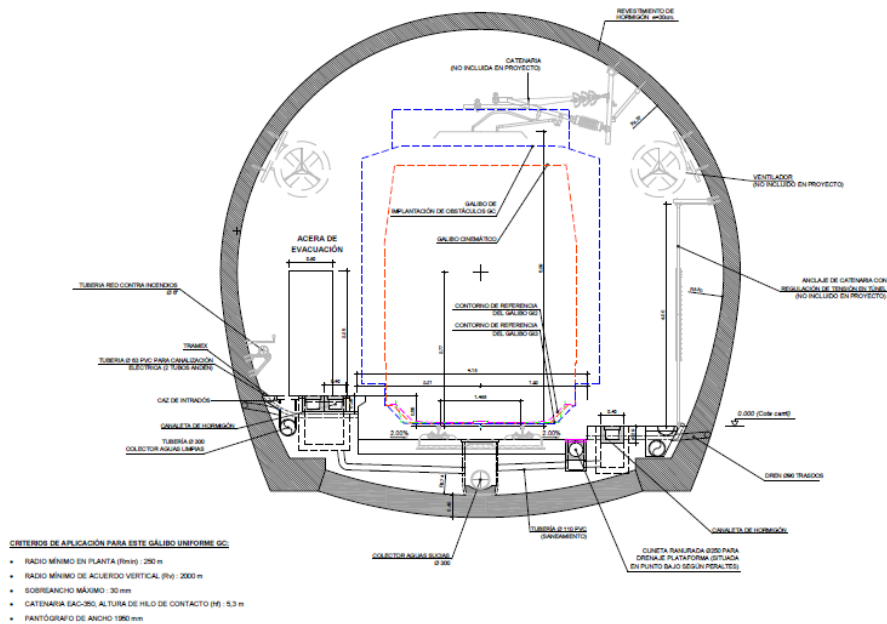
## Anexo D. Plano de planta Túnel Presidente Balta.



Fuente: Túnel Presidente Balta (Cassabone, 2017)

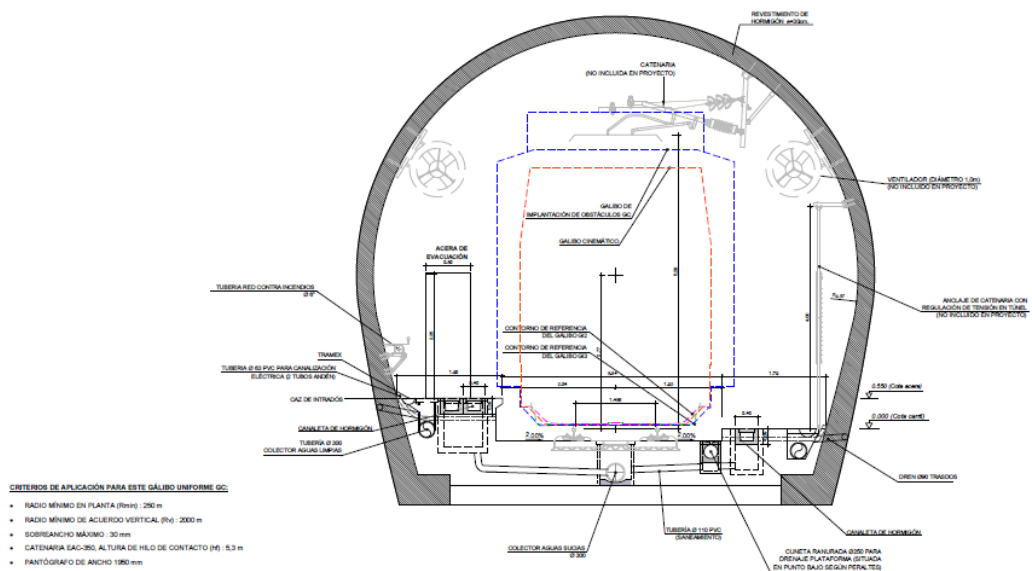
## Anexo E. Secciones de túneles

SECCIÓN TIPO 52 m<sup>2</sup>  
EXCAVACIÓN POR METODOS CONVENCIONALES CON CONTRABÓVEDA



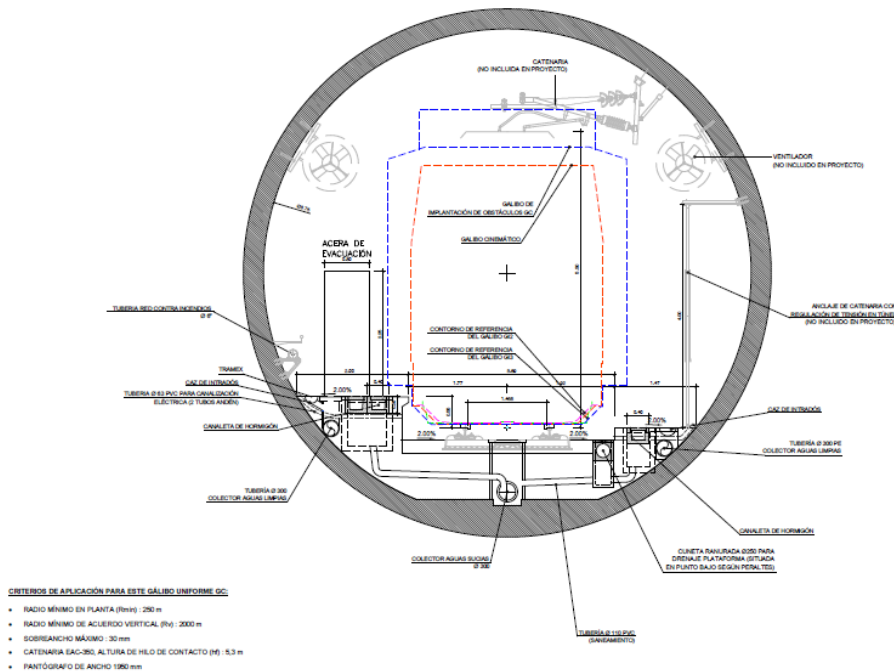
Sección Tipo 52 m<sup>2</sup>. Tráfico mixto - Excavación por métodos convencionales con contrabóveda  
Fuente: Túneles (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2018)

SECCIÓN TIPO 52 m<sup>2</sup>  
EXCAVACIÓN POR METODOS CONVENCIONALES CON SOLERA PLANA



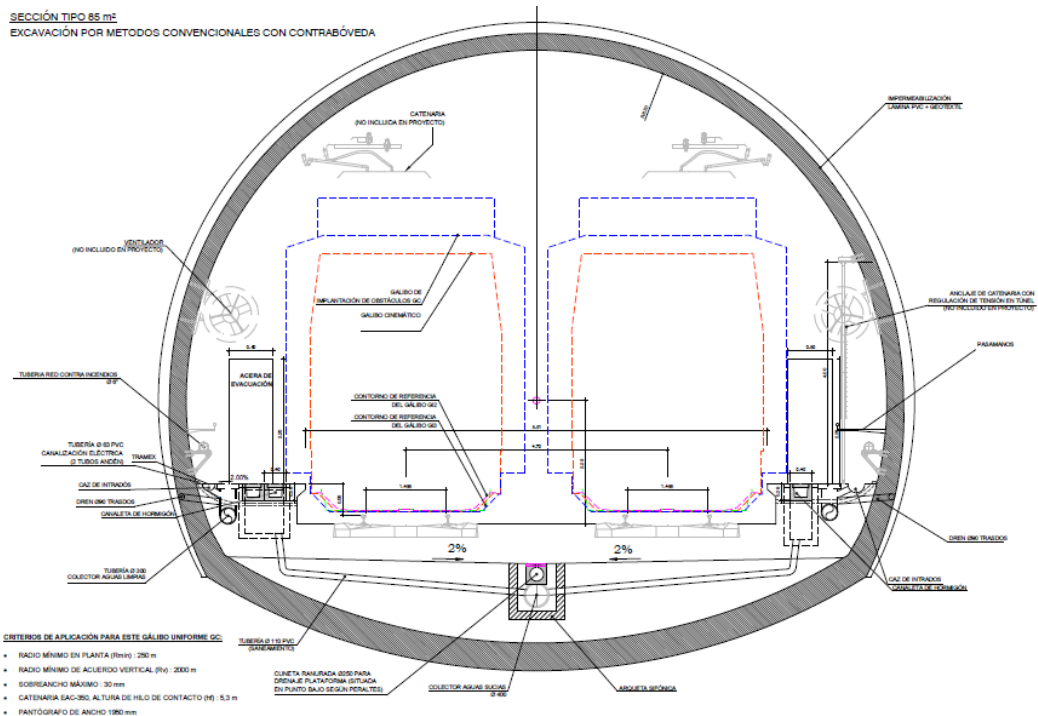
Sección Tipo 52 m<sup>2</sup> Tráfico mixto - Excavación por métodos convencionales con solera plana.  
Fuente: Túneles (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2018)

SECCIÓN TIPO 52 m<sup>2</sup>  
EXCAVACIÓN POR TUNELADORA



Sección Tipo 52 m<sup>2</sup>. Tráfico mixto - Excavación por tuneladora. Fuente: Túneles (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2018)

SECCIÓN TIPO 85 m<sup>2</sup>  
EXCAVACIÓN POR MÉTODOS CONVENCIONALES CON CONTRABÓVEDA



Sección Tipo 85 m<sup>2</sup>. Tráfico mixto. - Excavación por métodos convencionales con contrabóveda. Fuente: Túneles (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2018).



## Anexo F. Planes Maestro Kocur

210

MASTER  
PLAN 3: 9 trials

1234 5678

|      |      |
|------|------|
| 0000 | 0000 |
| 0112 | 0110 |
| 0221 | 0001 |
| 1011 | 1011 |
| 1120 | 1110 |
| 1202 | 1000 |
| 2022 | 0000 |
| 2101 | 0101 |
| 2210 | 0010 |

MASTER  
PLAN 4: 12 trials

12345 678901<sup>11</sup>

|       |        |
|-------|--------|
| 00000 | 000000 |
| 11011 | 100010 |
| 01101 | 110001 |
| 10110 | 111000 |
| 01011 | 011100 |
| 00101 | 101110 |
| 00010 | 110111 |
| 10001 | 011011 |
| 11000 | 101101 |
| 11100 | 010110 |
| 01110 | 001011 |
| 10111 | 000101 |

Fuente: Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment Kocur et al. (1982)  
Elaboración propia.

## Anexo G. Encuesta de Preferencias Declaradas.

| <b>ENCUESTA DE VIAJE &amp; PREFERENCIAS DECLARADAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| PROYECTO: Estudio de Preferencias Declaradas para la modelación de demanda en el Ferrocarril Central Andino                                                                                                                                                                                                                           |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| Lugar de encuesta: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                               | Fecha de encuesta: <input type="text" value="___/___/2017"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |
| Encuestador: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                               | Hora de encuesta: <input type="text" value="___:___"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| Responda las preguntas del cuestionario marcando con un X (aspa) y/o completando de acuerdo a la información solicitada.                                                                                                                                                                                                              |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| <b>A. INFORMACIÓN PERSONAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| <b>1.- Sexo:</b><br><input type="checkbox"/> Varón <input type="checkbox"/> Mujer                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>2.- Edad:</b><br><input type="text"/> años | <b>3.- Nivel de estudios:</b><br><input type="checkbox"/> Posgrado completo<br><input type="checkbox"/> Posgrado en proceso<br><input type="checkbox"/> Universitario completo<br><input type="checkbox"/> Universitario incompleto<br><input type="checkbox"/> Técnico completo<br><input type="checkbox"/> Técnico incompleto<br><input type="checkbox"/> Secundaria completa<br><input type="checkbox"/> Secundaria incompleta<br><input type="checkbox"/> Primaria completa<br><input type="checkbox"/> Primaria incompleta<br><input type="checkbox"/> Otros |  |
| <b>4.- ¿Posee licencia de conducir?</b><br><input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No<br>Indique categoría:<br><input type="checkbox"/> A-I<br><input type="checkbox"/> A-IIa<br><input type="checkbox"/> A-IIb<br><input type="checkbox"/> A-IIIa<br><input type="checkbox"/> A-IIIb<br><input type="checkbox"/> A-IIIc |                                               | <b>5.- Ocupación actual:</b><br><input type="checkbox"/> Estudiante<br><input type="checkbox"/> Empleado<br><input type="checkbox"/> Empleado parcial<br><input type="checkbox"/> Independiente<br><input type="checkbox"/> Ama de casa<br><input type="checkbox"/> Jubilado<br><input type="checkbox"/> Sin ocupación<br><input type="checkbox"/> Otros                                                                                                                                                                                                          |  |
| <b>B. INFORMACIÓN SOBRE VIAJE A REALIZAR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| <b>6.- Origen de viaje:</b> <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                               | <b>7.- Destino de viaje:</b> <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
| <b>8.- Modo de transporte utilizado:</b><br><input type="checkbox"/> Auto particular<br><input type="checkbox"/> Auto o Minivan (Colectivo)<br><input type="checkbox"/> Bus                                                                                                                                                           |                                               | <b>9.- Motivo del viaje</b><br><input type="checkbox"/> Trabajo<br><input type="checkbox"/> Estudio<br><input type="checkbox"/> Turismo/Recreación<br><input type="checkbox"/> Visita<br><input type="checkbox"/> Salud<br><input type="checkbox"/> Otros                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
| <b>10.- ¿Cuándo compró el boleto de viaje? (Coloque "0" cero en el primer cuadro si compró hoy)</b><br>Hace <input type="text"/> día (s)<br>Hace <input type="text"/> semana(s)<br>Hace <input type="text"/> mes(es)<br><input type="checkbox"/> No recuerdo                                                                          |                                               | <b>11.- ¿Cuál es el costo del pasaje que Ud. pagó por el viaje que va a realizar?</b><br>Si/ <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
| <b>12.- ¿Qué medio de transporte utilizó para llegar al aeropuerto o estación de buses?</b><br><input type="checkbox"/> Auto (propio o familiar)<br><input type="checkbox"/> Taxi<br><input type="checkbox"/> Bus (Omnibus, micros, etc.)<br><input type="checkbox"/> Combi<br><input type="checkbox"/> Otros                         |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| <b>13.- ¿A qué hora salió de su casa al terminal?</b><br><input type="text"/> : <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                  |                                               | <b>14.- ¿A qué hora llegó al terminal?</b><br><input type="text"/> : <input type="text"/>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
| <b>15.- ¿Es la primera vez que viaja al destino que Ud. declaró en la pregunta 7?</b><br><input type="checkbox"/> SI<br><input type="checkbox"/> NO                                                                                                                                                                                   |                                               | <b>16.- ¿Con qué frecuencia Ud. realiza el viaje al destino mencionado? (Coloque la cantidad)</b><br><input type="checkbox"/> viaje(s) por semana<br><input type="checkbox"/> viaje(s) por mes<br><input type="checkbox"/> viaje(s) por año                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |

Encuesta

Página 1

Primera página de encuesta de caracterización.  
Elaboración propia.

| C. INFORMACIÓN SOBRE PROBABLE USO DE NUEVO MODO DE TRANSPORTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>17.- ¿Cómo calificaría la siguiente frase: "El ferrocarril es un sistema de transporte masivo, seguro y rápido?"</p> <p> <input type="checkbox"/> Muy buena<br/> <input type="checkbox"/> Buena<br/> <input type="checkbox"/> Regular<br/> <input type="checkbox"/> Mala<br/> <input type="checkbox"/> Muy mala </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>18.- De existir el servicio de transporte de pasajeros en ferrocarril hacia su destino usual ¿Lo utilizaría como modo de transporte?</p> <p> <input type="checkbox"/> Totalmente de acuerdo<br/> <input type="checkbox"/> De acuerdo<br/> <input type="checkbox"/> Ni en acuerdo ni desacuerdo<br/> <input type="checkbox"/> En desacuerdo<br/> <input type="checkbox"/> Totalmente en desacuerdo </p> |
| D. INFORMACIÓN ADICIONAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>19.- ¿Cuántos vehículos posee en su hogar?</p> <p> <input type="checkbox"/> 0<br/> <input type="checkbox"/> 1<br/> <input type="checkbox"/> 2<br/> <input type="checkbox"/> Más de 2 </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>20.- ¿Utiliza su automóvil para realizar viajes hacia el destino que mencionó? Responda sólo si tiene automóvil.</p> <p> <input type="checkbox"/> Siempre<br/> <input type="checkbox"/> Casi siempre<br/> <input type="checkbox"/> Algunas veces<br/> <input type="checkbox"/> Pocas veces<br/> <input type="checkbox"/> Nunca </p>                                                                    |
| <p>21.- ¿Cuál es su ingreso personal mensual?</p> <p> <input type="checkbox"/> Entre S/0 - S/ 1000<br/> <input type="checkbox"/> Entre S/ 1000 - S/ 2000<br/> <input type="checkbox"/> Entre S/ 2001 - S/ 3000<br/> <input type="checkbox"/> Entre S/ 3001 - S/ 4000<br/> <input type="checkbox"/> Entre S/ 4001 - S/ 5000<br/> <input type="checkbox"/> Entre S/ 5001 - S/ 6000<br/> <input type="checkbox"/> Más de S/ 6000 </p>                                                                                                                                                                                                  | <p>22.- ¿Cómo calificaría la SEGURIDAD en un modo de transporte (terrestre, aéreo, ferroviario)?</p> <p> <input type="checkbox"/> Muy importante<br/> <input type="checkbox"/> Importante<br/> <input type="checkbox"/> Medianamente importante<br/> <input type="checkbox"/> Poco importante<br/> <input type="checkbox"/> Nada importante </p>                                                          |
| PREFERENCIAS DECLARADAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>Supongamos que el Ministerio de Transportes va a implementar el servicio del Ferrocarril Central Andino para pasajeros de Lima hacia su ciudad de destino. Si se le planteara la posibilidad de utilizar el Ferrocarril, pero también tiene la opción de bus interprovincial, considerando las características (atributos) de tiempo de viaje, costo de pasaje y comodidad. La comodidad baja es cuando viaja en asientos en mal estado y con muy poco espacio, la comodidad alta es cuando viaja en asientos en buen estado, lo suficiente reclinables y tiene el espacio necesario ¿Cuál elegiría? Marque con un X (ASPA).</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ESCENARIO 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>FERROCARRIL</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 4 horas<br/>             Costo del pasaje: 120 soles<br/>             Comodidad: Baja<br/>             Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p><b>BUS</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 12 horas<br/>             Costo del pasaje: 20 soles<br/>             Comodidad: Baja<br/>             Elijo bus: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                          |
| ESCENARIO 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>FERROCARRIL</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 3 horas<br/>             Costo del pasaje: 120 soles<br/>             Comodidad: Alta<br/>             Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p><b>BUS</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 8 horas<br/>             Costo del pasaje: 20 soles<br/>             Comodidad: Baja<br/>             Elijo bus: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                           |
| ESCENARIO 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p><b>FERROCARRIL</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 3 horas<br/>             Costo del pasaje: 80 soles<br/>             Comodidad: Baja<br/>             Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p><b>BUS</b></p> <p>  </p> <p>             Tiempo de viaje: 10 horas<br/>             Costo del pasaje: 80 soles<br/>             Comodidad: Baja<br/>             Elijo bus: <input type="checkbox"/> </p>                                                                                                          |

Encuesta

Página 2

Segunda página de encuesta de caracterización y primera parte de los escenarios de preferencias declaradas.

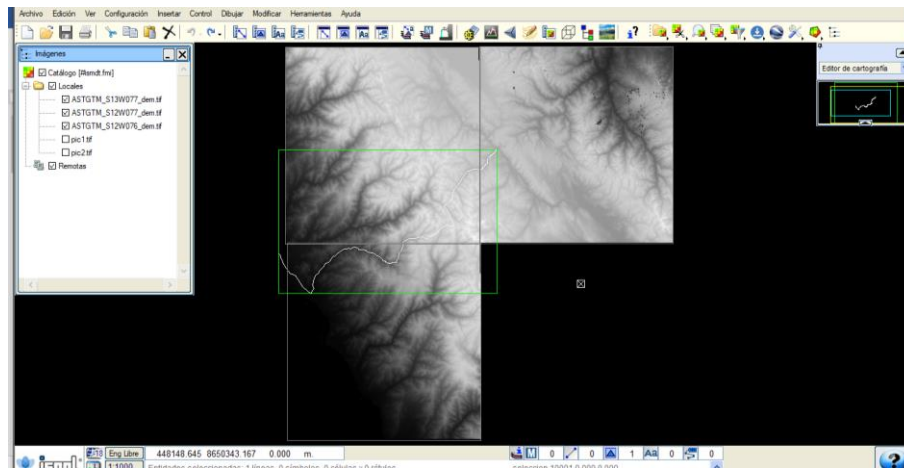
Elaboración propia.

| ESCENARIO 4                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|    | Tiempo de viaje: 4 horas<br>Costo del pasaje: 80 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/>    |    | Tiempo de viaje: 12 horas<br>Costo del pasaje: 80 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/> |
| ESCENARIO 5                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|    | Tiempo de viaje: 3.5 horas<br>Costo del pasaje: 80 soles<br>Comodidad: Alta<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/>  |    | Tiempo de viaje: 8 horas<br>Costo del pasaje: 80 soles<br>Comodidad: Alta<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/>  |
| ESCENARIO 6                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|    | Tiempo de viaje: 3.5 horas<br>Costo del pasaje: 100 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/> |    | Tiempo de viaje: 10 horas<br>Costo del pasaje: 50 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/> |
| ESCENARIO 7                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|  | Tiempo de viaje: 3 horas<br>Costo del pasaje: 100 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/>   |  | Tiempo de viaje: 10 horas<br>Costo del pasaje: 20 soles<br>Comodidad: Alta<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/> |
| ESCENARIO 8                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|  | Tiempo de viaje: 3.5 horas<br>Costo del pasaje: 120 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/> |  | Tiempo de viaje: 8 horas<br>Costo del pasaje: 50 soles<br>Comodidad: Baja<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/>  |
| ESCENARIO 9                                                                         |                                                                                                                             |                                                                                      |                                                                                                                   |
| <b>FERROCARRIL</b>                                                                  |                                                                                                                             | <b>BUS</b>                                                                           |                                                                                                                   |
|  | Tiempo de viaje: 4 horas<br>Costo del pasaje: 100 soles<br>Comodidad: Alta<br>Elijo Ferrocarril: <input type="checkbox"/>   |  | Tiempo de viaje: 12 horas<br>Costo del pasaje: 50 soles<br>Comodidad: Alta<br>Elijo bus: <input type="checkbox"/> |

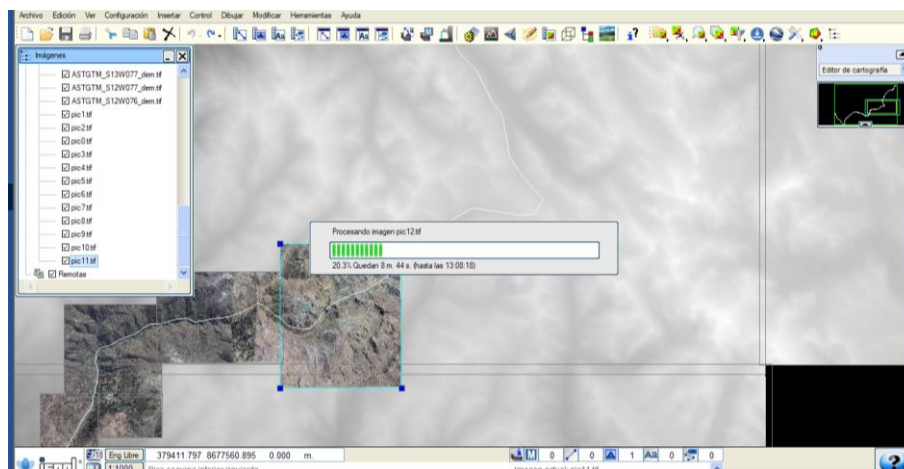
Tercera página de encuesta y segunda de los escenarios de preferencias declaradas  
Elaboración propia.

## Anexo H. Generación de cartografía digital ISTRAM.

Se carga la ruta 4 del FCCA (archivo kmz) proyectada en Google Earth, para tener una referencia del proyecto y localizarlo.

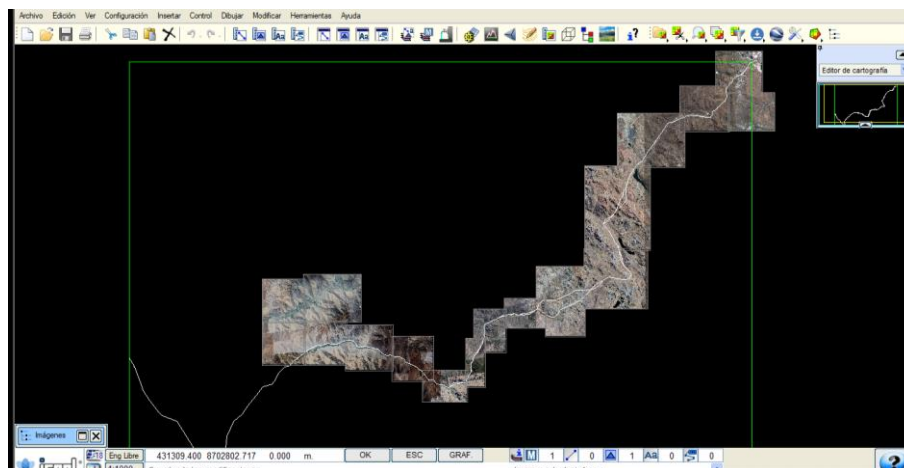


Se procede a descargar imágenes de Google Earth para localizar el proyecto y tener una mejor visualización general.

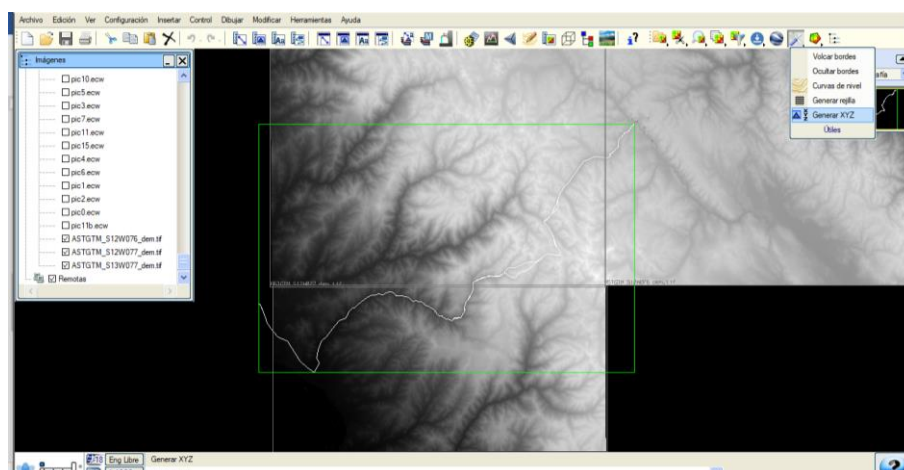


El proceso de descarga de imágenes es por cuadros pequeños debido a que cada imagen tiene un peso en MB considerable. Sin embargo, Istram da la opción de cambiar el formato de imagen y así reducir el peso de imagen, sin perder calidad.

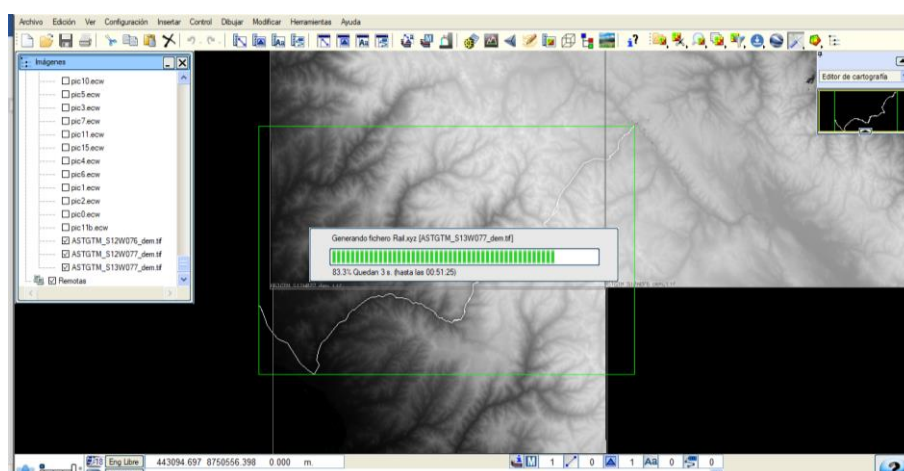
Tal como se describió, al descargar todas las imágenes de Google Earth se puede visualizar y localizar mejor el proyecto, eso para la probable ruta, en el desarrollo del trazo en planta se podría cambiar el trayecto siempre y cuando sea necesario.



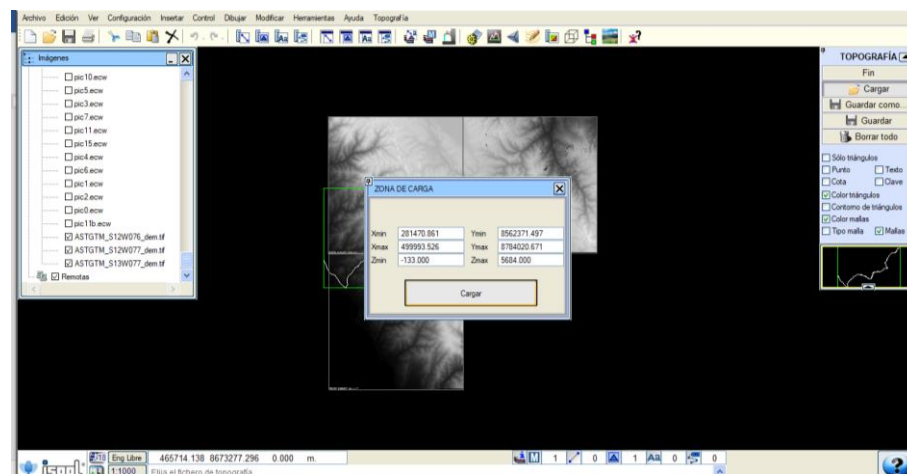
Luego se procede a generar un archivo XYZ:



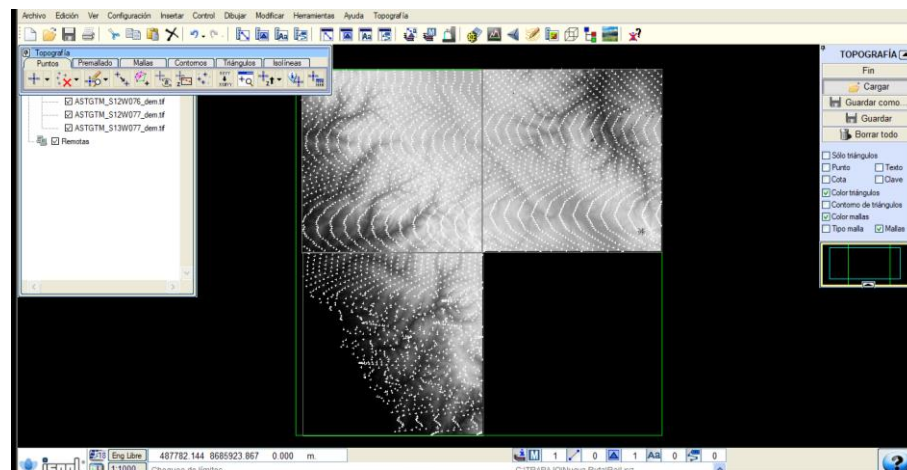
Los puntos generados en el archivo XYZ contienen información.



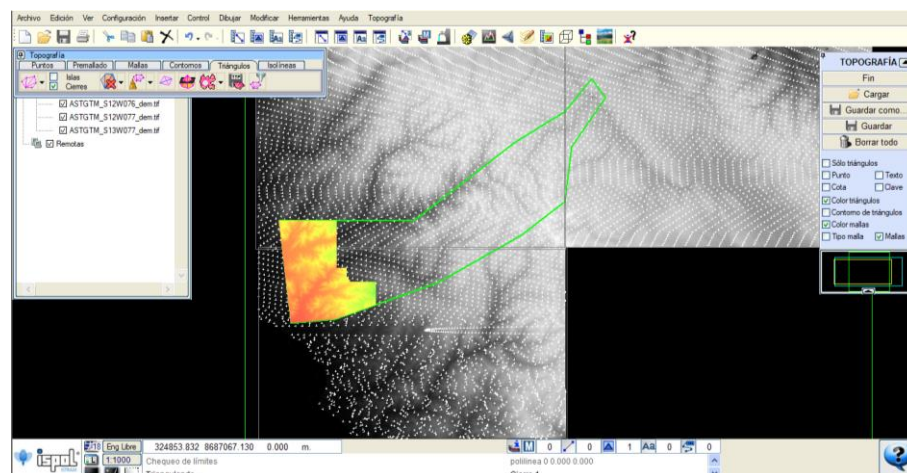
Luego se procede a cargar el archivo generado.



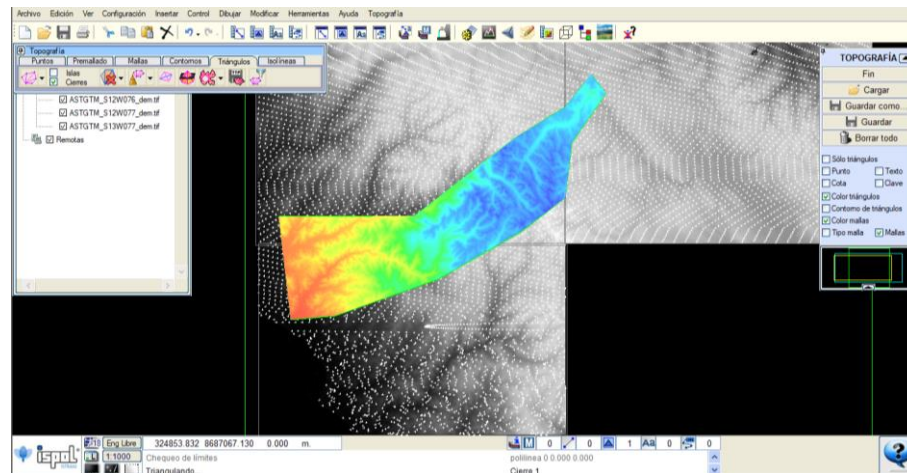
Se puede ver en la ventana siguiente todos los puntos cargados.



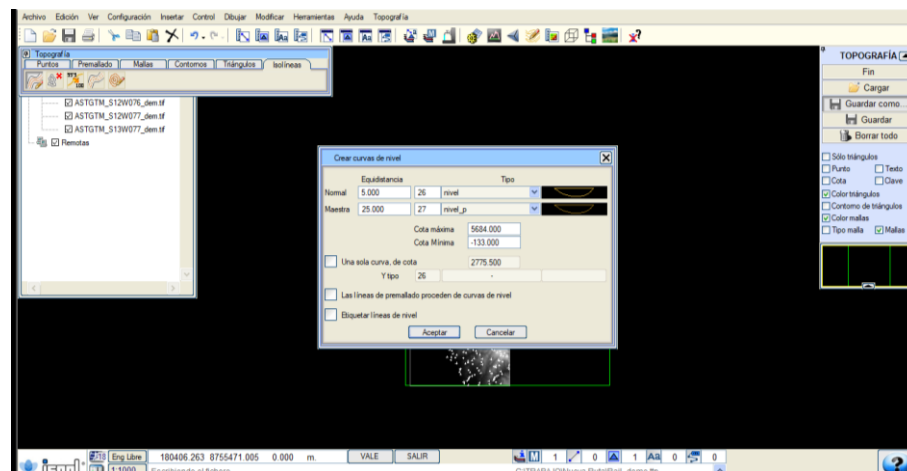
Con las imágenes ráster se procede a generar la topografía. Se genera los puntos y se triangula.



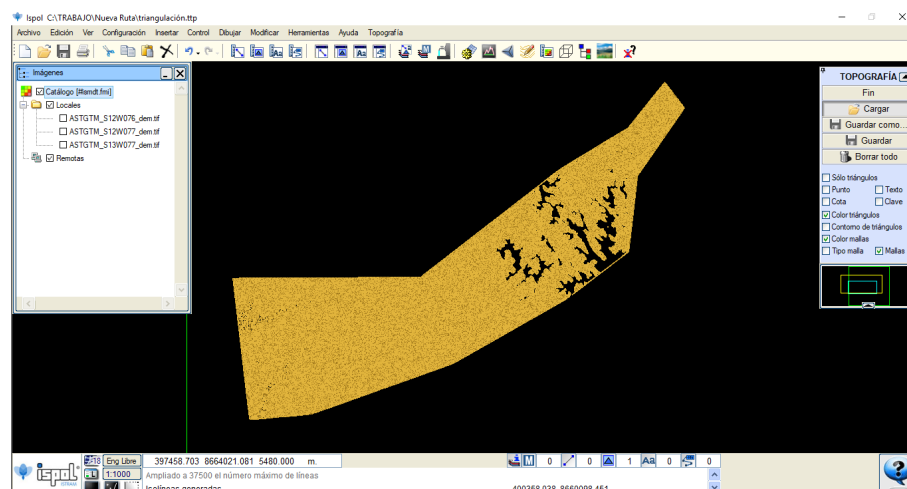
Se completa la triangulación y el programa procesa los datos.



Luego se generan las curvas de nivel, mediante isóneas:

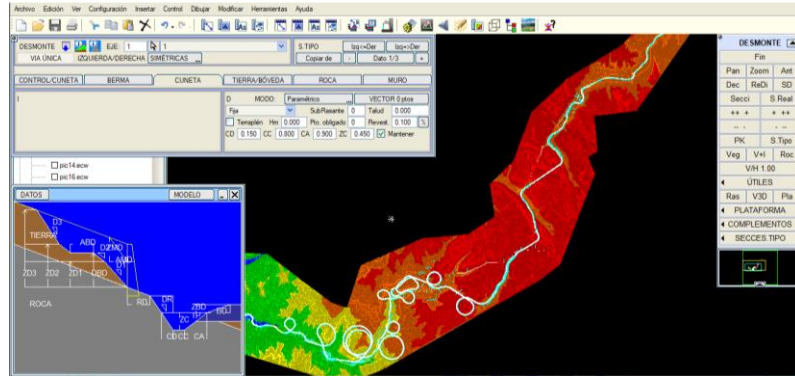


Finalmente se obtiene las curvas de nivel cada 5 m.

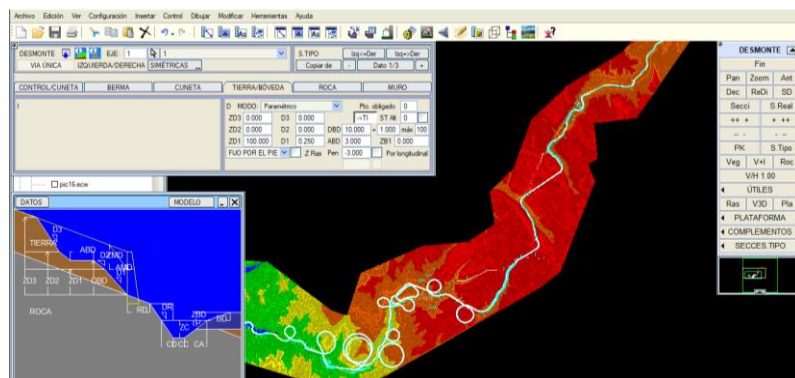


## Anexo I. Corte y relleno.

Parte de las secciones transversales incluyen cunetas, muros, etc. Para el eje conceptual trazado se considera para cuneta los valores de la siguiente figura.

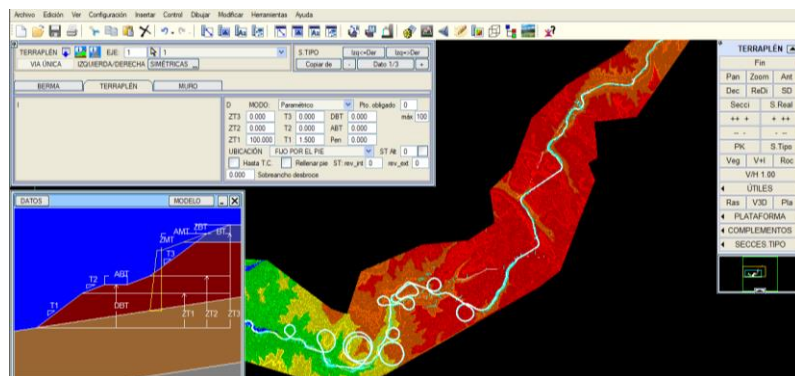


Secciones cuneta. Elaboración propia.



Secciones taludes. Elaboración propia.

Se considera un talud de corte de 1:4, como referencia. Los taludes de terraplén (relleno) se definen muy similar a como se ha hecho en el corte. Para el caso de relleno se considera 1.5.



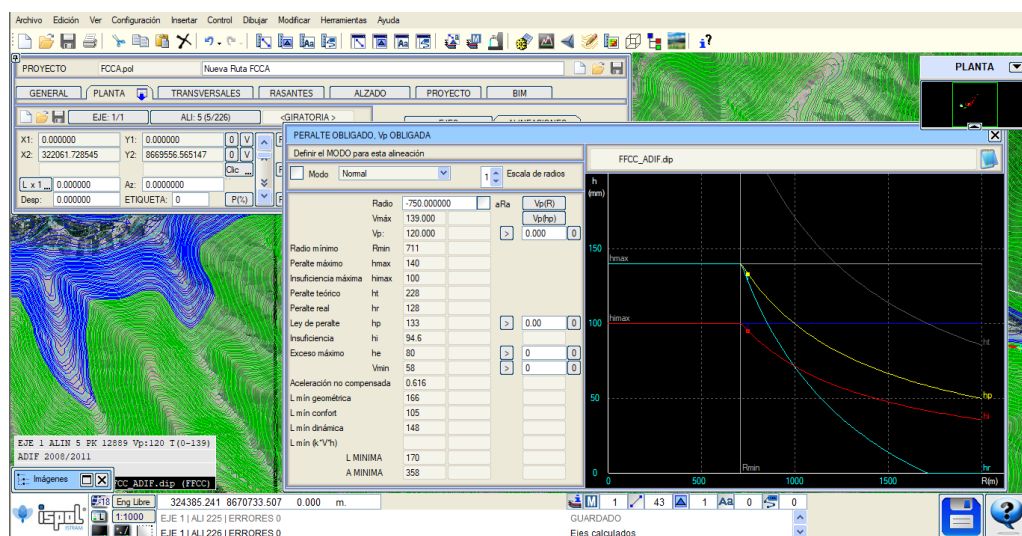
Secciones relleno en Istram. Elaboración propia



## Anexo K. Peralte y velocidad obligado.

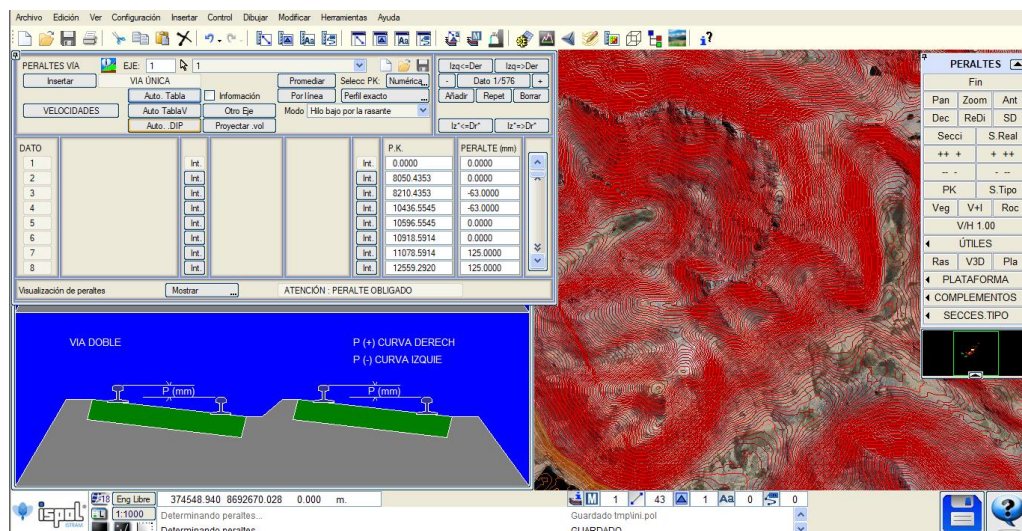
### Peralte y velocidad obligado

Istram posee un calculador gráfico de peraltes que permite modificar por cada alineación, su radio, la velocidad de proyecto o velocidad máxima para esa alineación junto con el peralte. Permite calcular y modificar simultáneamente las clotoides. También se sirve para visualizar los parámetros asociados a la vía. Se utiliza en ocasiones concretas, como tener que permitir un tráfico específico, por imposición medioambiental, un trazo urbano que no ofrece muchas alternativas, etc.



Ventana de peraltes obligados

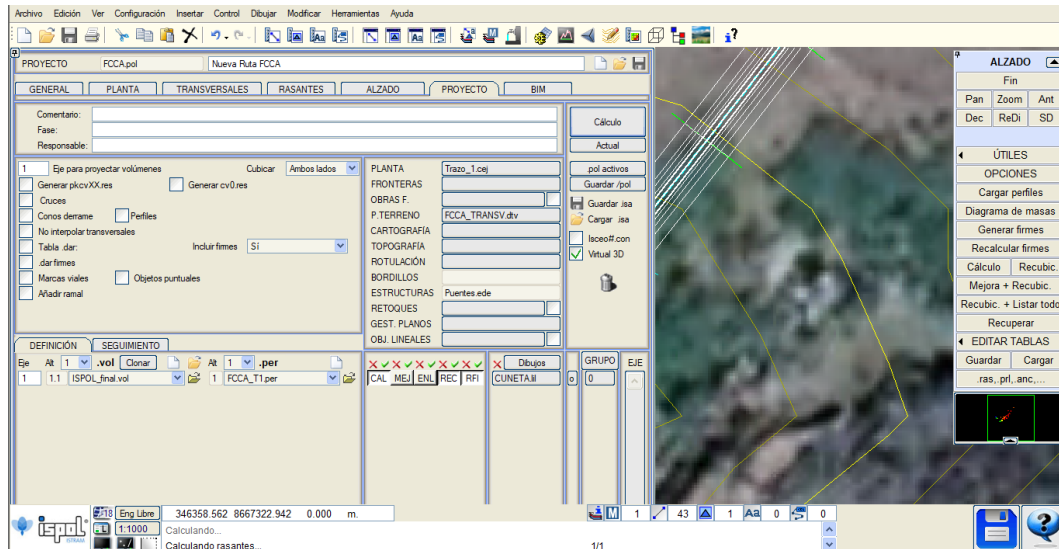
Los peraltes por normativa son generados automáticamente por el software.



Ventana peraltes

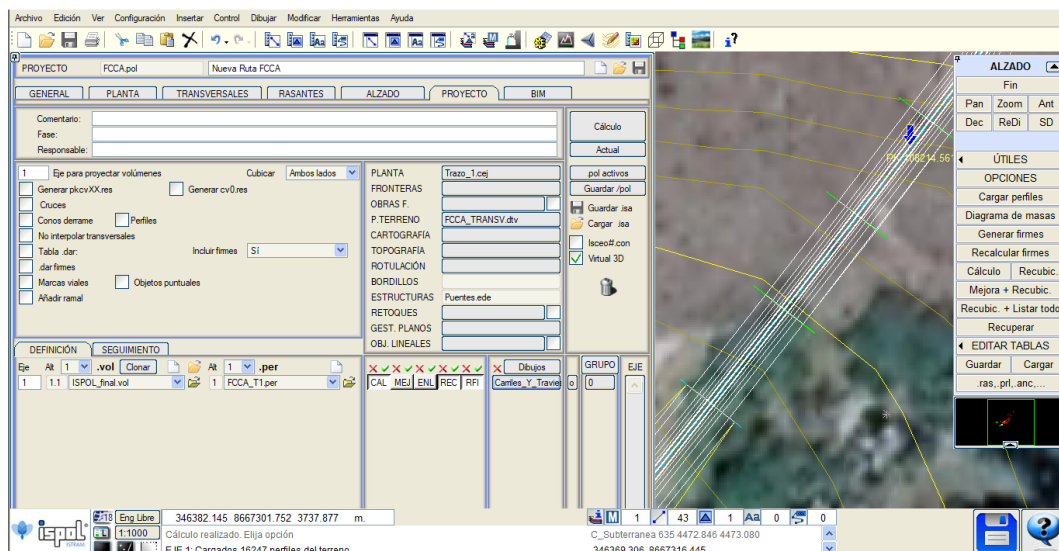
## Anexo L. Plantillas de cálculo.

Dentro de la ventana de proyecto se seleccionan diferentes plantillas para calcular el proyecto.



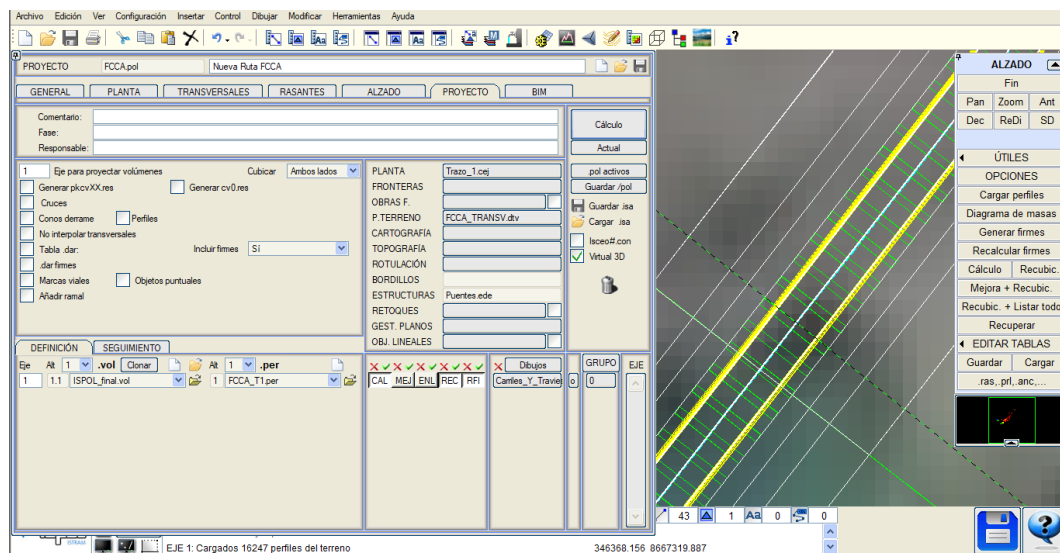
Generación de cunetas

Adicionalmente se le agrega los modos de dibujo de carriles y traviesas y se procede a calcular.



Generación de carriles y traviesas.

Una vez generado los dibujos se pueden visualizar en la ventana de Istram.



Modos de dibujo proyectados.

## Anexo M. Base de datos codificada de encuestas explotadas.

| N° Preg:        | 1            | 2   | 3     | 5   | 9                | 11              | 15              | 17             | 18                  | 21    | 22                | ESCENARIOS |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------|--------------|-----|-------|-----|------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------|-------|-------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| N° ENCUE:<br>A. | male fe<br>m | age | degre | job | reason, 1<br>rip | price, 6<br>kel | numbe<br>s, tri | rating, 3<br>a | rating, 4<br>se, fi | incom | rating, 5<br>acur | ESC1       | ESC2 | ESC3 | ESC4 | ESC5 | ESC6 | ESC7 | ESC8 | ESC9 | ESC10 |
| 1               | 0            | 50  | 4     | 4   | 4                | 30              | 2               | 3              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 2               | 1            | 35  | 2     | 3   | 1                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 4     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 3               | 0            | 20  | 4     | 1   | 4                | 20              | 2               | 3              | 2                   | 1     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 4               | 0            | 25  | 4     | 1   | 1                | 20              | 1               | 3              | 2                   | 3     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 5               | 0            | 44  | 7     | 2   | 5                | 15              | 2               | 1              | 2                   | 2     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 6               | 1            | 50  | 8     | 7   | 4                | 20              | 2               | 3              | 2                   | 1     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1     |
| 7               | 0            | 40  | 5     | 4   | 3                |                 | 2               | 3              | 3                   | 3     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 8               | 0            | 37  | 7     | 4   | 3                | 60              | 2               | 4              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1     |
| 9               | 1            | 48  | 7     | 5   | 4                | 20              | 2               | 3              | 2                   | 1     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 10              | 0            | 45  | 7     | 4   | 4                | 15              | 1               | 4              | 3                   | 1     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 11              | 1            | 21  | 4     | 1   | 3                | 15              | 1               | 3              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 12              | 0            | 25  | 4     | 1   | 1                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 4     | 1                 | 0          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 13              | 1            | 29  | 3     | 2   | 1                | 30              | 2               | 2              | 2                   | 4     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 14              | 0            | 52  | 5     | 3   | 4                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 3     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 15              | 1            | 39  | 4     | 2   | 6                | 40              | 2               | 2              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 16              | 0            | 60  | 7     | 4   | 4                | 30              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 17              | 0            | 50  | 5     | 4   | 6                | 20              | 1               | 5              | 2                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 18              | 0            | 32  | 5     | 2   | 1                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 3     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1     |
| 19              | 0            | 22  | 6     | 1   | 4                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 1     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1     |
| 20              | 0            | 60  | 4     | 2   |                  | 20              | 2               | 2              | 3                   | 3     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 21              | 0            | 26  | 4     |     | 3                | 40              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 3                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1     |
| 22              | 1            | 55  | 5     | 5   | 5                | 60              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 23              | 0            | 29  | 3     | 2   | 1                | 45              | 2               | 3              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 24              | 0            | 28  | 5     | 2   | 1                | 45              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 25              | 1            | 40  | 5     | 4   | 1                | 50              | 2               | 2              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 26              | 0            | 45  | 7     | 4   | 4                | 35              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 27              | 1            | 38  | 3     | 2   | 1                | 45              | 1               | 3              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 28              | 1            | 35  | 3     | 2   | 5                | 60              | 2               | 1              | 1                   | 3     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 29              | 1            | 23  | 5     | 5   | 6                | 40              | 2               | 3              | 4                   | 1     | 3                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 30              | 1            | 45  | 7     | 5   | 3                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1     |
| 31              | 0            | 42  | 4     | 2   | 3                | 30              | 2               | 2              | 1                   | 2     | 2                 | 1          | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 32              | 0            | 26  | 3     | 2   | 1                | 40              | 2               | 1              | 1                   | 2     | 4                 | 1          | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 33              | 0            | 42  | 7     | 2   | 1                | 35              | 2               | 1              | 1                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 34              | 0            | 70  | 9     | 6   | 5                | 40              | 2               | 1              | 1                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 35              | 0            | 21  | 11    | 1   | 2                | 30              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 2                 | 0          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 36              | 0            | 47  | 7     | 4   | 1                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 2     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1     |
| 37              | 0            | 72  | 10    | 4   | 4                | 30              | 2               | 1              | 1                   | 1     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 38              | 1            | 24  | 4     | 1   | 4                | 35              | 1               | 2              | 2                   | 1     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0     |
| 39              | 1            | 19  | 4     | 2   | 2                | 35              | 1               | 3              | 3                   | 1     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 40              | 1            | 24  | 4     | 1   | 3                | 35              | 1               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0     |
| 41              | 1            | 28  | 7     | 2   | 4                | 35              | 2               | 2              | 2                   |       | 1                 | 1          | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0     |
| 42              | 0            | 29  | 7     | 2   | 1                | 15              | 1               | 2              | 3                   | 1     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0     |
| 43              | 1            | 32  | 7     | 5   | 4                | 20              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 44              | 1            | 30  | 6     | 3   | 4                | 15              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 1                 | 0          | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 45              | 1            | 33  | 8     | 5   | 4                | 20              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 46              | 1            | 27  | 7     | 5   | 4                | 15              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 1                 | 0          | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0     |
| 47              | 0            | 29  | 7     | 4   | 4                | 20              | 2               | 2              | 3                   | 3     | 2                 | 0          | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 48              | 1            | 19  | 6     | 1   |                  | 20              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 49              | 0            | 32  | 5     | 2   | 4                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 3     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 50              | 1            | 21  | 7     | 4   | 4                | 25              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 1                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| 51              | 0            | 19  |       | 1   | 2                | 30              | 2               | 3              | 1                   | 2     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     |
| 52              | 0            | 24  | 7     | 2   | 1                | 30              | 2               | 2              | 4                   | 3     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 53              | 1            | 19  | 7     | 1   | 6                | 20              | 2               | 3              | 2                   |       | 2                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 54              | 1            | 25  | 7     | 5   | 4                | 20              | 2               | 2              | 3                   | 1     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 55              | 0            | 32  | 7     | 4   | 4                | 20              | 2               | 3              | 3                   |       | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 56              | 0            | 27  | 5     | 2   |                  | 20              | 2               | 3              | 3                   | 3     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 57              | 0            | 21  | 7     | 1   | 4                | 25              | 2               | 3              | 2                   |       | 2                 | 0          | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 58              | 1            | 28  | 5     | 2   | 4                | 20              | 2               | 2              | 2                   |       | 2                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 59              | 0            | 25  | 7     |     |                  | 25              | 2               | 2              | 2                   |       | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 60              | 0            | 45  |       | 2   | 4                | 20              | 2               | 2              | 3                   |       | 2                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 61              | 1            | 21  | 4     | 1   | 2                | 25              | 1               | 1              | 2                   | 1     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 62              | 0            | 35  | 7     | 4   | 3                | 25              | 2               | 1              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 63              | 1            | 27  | 7     | 5   | 4                | 20              | 2               | 2              | 3                   | 1     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 64              | 0            | 30  | 7     | 2   | 4                | 20              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 65              | 0            | 30  | 4     | 2   | 3                | 20              | 2               | 2              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 66              | 1            | 20  | 7     | 2   | 4                | 15              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0     |
| 67              | 0            | 25  | 7     | 2   | 4                | 15              | 2               | 3              | 2                   | 2     | 1                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 68              | 0            | 30  | 5     | 2   | 3                | 15              | 2               | 1              | 2                   | 3     | 1                 | 1          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     |
| 69              | 1            | 35  | 7     | 5   | 4                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 1     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 70              | 0            | 72  | 8     | 6   | 1                | 20              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 71              | 1            | 19  | 5     | 1   | 2                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 1     | 1                 | 0          | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0     |
| 72              | 0            | 40  | 7     | 3   | 4                | 15              | 2               | 2              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1     |
| 73              | 1            | 25  | 7     | 3   | 1                | 15              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0     |
| 74              | 0            | 20  | 5     | 2   | 2                | 15              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1     |
| 75              | 0            | 35  | 8     | 3   | 4                | 15              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| 76              | 1            | 35  | 6     | 3   | 2                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1     |
| 77              | 0            | 45  | 8     | 2   | 1                | 20              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 78              | 0            | 75  | 8     | 6   | 5                | 10              | 2               | 2              | 2                   | 1     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1     |
| 79              | 0            | 55  | 7     | 8   | 4                | 30              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 1                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0     |
| 80              | 1            | 30  | 5     | 2   | 2                | 30              | 2               | 2              | 1                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0     |
| 81              | 1            | 45  | 7     | 2   | 6                | 30              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 3                 | 1          | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| 82              | 1            | 20  | 5     | 2   | 4                | 30              | 2               | 2              | 2                   | 2     | 2                 | 0          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1     |
| 83              | 0            | 24  | 5     | 1   | 3                | 30              | 2               | 2              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 1     |
| 84              | 1            | 24  | 5     | 2   | 4                | 30              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 2                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1     |
| 85              | 1            | 24  | 5     |     | 4                | 30              | 2               | 3              | 3                   | 2     | 3                 | 1          | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1     |
| 86              | 0            | 48  | 5     | 3   | 3                | 30              | 2               | 3              | 2                   | 2     | 3                 | 1          |      |      |      |      |      |      |      |      |       |

|     |   |    |    |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|----|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 91  | 1 | 30 | 7  | 8 | 6 | 29 | 2 | 4 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 92  | 0 | 37 | 3  | 2 | 3 | 60 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 93  | 0 | 62 | 8  | 6 | 5 | 55 | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 94  | 1 | 50 | 8  | 5 | 5 | 55 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 95  | 1 | 23 | 4  | 1 | 4 | 55 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 96  | 1 | 20 | 4  | 1 | 3 | 50 | 2 | 1 | 1 | 3 |   | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 97  | 1 | 25 | 3  | 4 | 1 | 40 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 98  | 0 | 27 | 7  | 3 | 4 | 30 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 99  | 0 | 32 | 6  | 4 | 1 | 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 100 | 0 | 24 | 3  | 8 | 4 | 35 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 101 | 1 | 20 | 4  | 1 | 4 | 30 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 102 | 0 | 30 | 3  | 4 | 6 | 35 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 103 | 1 | 48 |    | 5 | 4 | 25 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 104 | 0 | 51 | 7  | 2 | 4 | 35 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 105 | 1 | 50 | 8  | 5 | 5 | 50 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 106 | 0 | 42 | 7  | 3 | 5 | 50 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 107 | 1 | 60 | 11 | 8 | 5 | 40 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 108 | 1 | 25 | 3  | 4 | 4 | 50 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 109 | 0 | 21 | 5  | 2 | 4 | 40 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 110 | 0 | 28 | 3  | 4 | 1 | 1  | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 0 | 43 | 7  | 2 | 3 | 40 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 112 | 1 | 37 | 7  | 5 | 6 | 50 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 113 | 0 | 20 | 4  | 1 | 4 | 50 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 114 | 0 | 32 | 11 | 8 | 3 | 50 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 115 | 0 | 41 | 6  | 2 | 1 | 40 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 116 | 1 | 32 | 7  | 5 | 4 | 40 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 117 | 0 | 54 | 8  | 6 | 4 | 40 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 118 | 1 | 45 | 7  | 5 | 6 | 40 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 119 | 1 | 37 | 4  |   | 6 | 40 | 1 |   |   | 2 |   | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 120 | 0 | 34 | 6  | 4 | 3 | 40 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 121 | 0 | 31 | 5  | 4 | 4 | 40 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 122 | 1 | 34 | 6  | 4 | 4 | 40 |   | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 123 | 0 | 29 | 5  | 2 | 1 | 40 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 124 | 1 | 36 | 7  | 2 | 4 | 45 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 125 | 0 | 57 | 5  | 2 | 1 | 45 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 126 | 1 | 73 | 7  | 7 | 4 | 60 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 127 | 0 | 35 | 3  | 2 | 4 | 60 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 128 | 1 | 43 | 9  | 2 | 4 | 80 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 129 | 1 | 54 | 7  | 2 | 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 130 | 0 | 28 | 5  | 2 | 6 | 50 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 131 | 0 | 56 | 7  | 2 | 4 | 45 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 132 | 1 | 27 | 3  | 2 | 4 | 50 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 133 | 1 | 33 | 7  | 5 | 4 | 60 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 134 | 0 | 42 | 5  | 2 | 1 | 55 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 135 | 0 | 45 | 7  | 2 | 6 | 60 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 136 | 0 | 31 | 8  | 4 | 4 | 60 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 137 | 1 | 37 | 3  | 8 | 1 | 70 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 138 | 1 | 53 | 3  | 4 | 6 | 80 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 139 | 0 | 40 | 7  | 2 | 4 | 45 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 140 | 1 | 70 | 7  | 7 | 5 | 65 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 141 | 1 | 48 | 7  | 8 | 4 | 70 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 142 | 1 | 55 | 7  | 5 | 4 | 80 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 143 | 1 | 54 | 3  | 2 | 1 | 70 | - | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 144 | 0 | 28 | 3  | 2 | 2 | 75 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 145 | 0 | 29 | 4  | 1 | 2 | 65 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 146 | 1 | 61 | 7  | 7 | 4 | 45 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 147 | 1 | 32 | 7  | 2 | 3 | 80 | 2 | 1 | 3 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 148 | 0 | 31 | 3  | 2 | 1 | 75 | 2 | 1 | 1 | 5 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 149 | 1 | 42 | 7  | 5 | 4 | 75 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 150 | 1 | 44 | 7  | 5 | 3 | 45 | 1 | 3 | 5 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 151 | 0 | 20 | 4  | 1 | 3 | 40 | 1 | 4 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 152 | 0 | 19 | 4  | 1 | 3 | 35 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 153 | 0 | 19 | 4  | 1 | 4 | 75 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 154 | 1 | 32 | 7  | 7 | 6 | 40 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 155 | 0 | 40 | 8  | 2 | 3 | 50 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 156 | 0 | 84 | 7  | 4 | 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 157 | 0 | 22 | 5  | 2 | 4 | 40 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 158 | 1 | 29 | 5  | 4 | 6 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 159 | 1 | 27 | 5  | 4 | 6 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 160 | 0 | 72 | 8  | 6 | 5 | 50 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 161 | 1 | 32 | 7  | 5 | 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 162 | 1 | 53 | 10 | 7 | 6 | 40 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 163 | 0 | 42 | 3  | 2 | 1 | 80 | 2 | 2 | 2 | 5 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 164 | 1 | 31 | 4  | 4 | 4 | 50 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 165 | 1 | 18 | 7  | 7 | 3 | 40 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 166 | 0 | 50 | 5  | 4 | 1 | 50 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 167 | 1 | 42 | 8  | 2 | 1 | 40 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 168 | 1 | 26 | 7  | 2 | 4 | 70 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 169 | 0 | 22 | 4  | 1 | 4 |    | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 170 | 0 | 48 | 3  | 2 | 3 | 45 | 2 | 2 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 171 | 1 | 20 | 4  | 1 | 4 | 35 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 172 | 0 | 24 | 3  | 2 | 4 | 60 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 173 | 0 | 33 | 4  | 4 | 1 | 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 174 | 1 | 37 | 6  | 5 | 4 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 175 | 1 | 40 | 5  | 5 | 4 | 60 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 176 | 0 | 25 | 4  | 1 | 4 | 30 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 177 | 0 | 22 | 6  | 1 | 4 | 30 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 178 | 1 | 22 | 4  | 1 | 3 | 25 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 179 | 0 | 30 | 1  | 6 | 2 | 50 | 2 | 5 | 5 | 5 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 180 | 0 | 67 | 5  | 6 | 4 | 35 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 181 | 1 | 45 | 5  | 2 | 4 | 40 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 182 | 0 | 30 | 5  | 4 | 4 | 30 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |

|     |   |    |   |   |   |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|----|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 184 | 0 | 29 | 3 | 2 | 4 | 50 | 2  | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 185 | 0 | 45 | 7 | 4 | 4 | 35 | 2  | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 186 | 0 | 29 | 7 | 4 | 4 | 40 | 2  | 3 | 4 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 187 | 0 | 34 | 3 | 2 | 1 | 50 | 2  | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 188 | 0 | 36 | 5 | 3 | 1 | 35 | 1  | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 189 | 1 | 21 | 6 | 1 | 4 | 15 | 2  | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 190 | 0 | 19 | 6 | 1 | 1 | 35 | 1  | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 191 | 0 | 26 | 7 | 2 | 1 | 35 | 2  | 2 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 192 | 0 | 20 | 4 | 1 | 4 | 50 | 2  | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 193 | 1 | 18 | 6 | 1 | 3 | 70 | 1  | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 194 | 1 | 52 | 5 | 5 | 4 | 50 | 2  | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 195 | 0 | 52 | 3 | 2 | 5 | 50 | 1  | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 196 | 1 | 49 | 5 | 5 | 3 | 40 | 1  | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 197 | 0 | 19 | 4 | 1 | 4 | 45 | 1  | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 198 | 1 | 45 | 5 | 5 | 3 | 45 | 2  | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 199 | 0 | 28 | 3 | 2 | 4 | 70 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 200 | 1 | 48 | 6 | 4 | 4 | 60 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 201 | 1 | 22 | 4 | 1 | 3 | 40 | 2  | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 202 | 0 | 27 | 4 | 4 | 1 | 35 | 2  | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 203 | 0 | 31 | 7 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 204 | 0 | 60 | 3 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 205 | 0 | 81 | 3 | 4 | 3 | 20 | 2  | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 206 | 0 | 69 | 3 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 207 | 0 | 32 | 5 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 208 | 0 | 30 | 5 | 4 | 3 | 20 | 2  | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 209 | 1 | 33 | 7 | 5 | 5 | 20 | 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 210 | 0 | 41 | 3 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 211 | 0 | 27 | 7 | 2 | 1 | 30 | 2  | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 212 | 1 | 38 | 7 | 5 | 1 | 30 | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 213 | 0 | 30 | 7 | 2 | 4 | 30 | 2  | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 214 | 0 | 32 | 5 | 4 | 4 | 30 | 2  | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 215 | 1 | 35 | 4 | 1 | 1 | 30 | 2  | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 216 | 0 | 41 | 3 | 4 | 4 | 30 | 2  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 217 | 1 | 34 | 7 | 4 | 5 | 30 | 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 218 | 0 | 36 | 3 | 4 | 1 | 30 | 2  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 219 | 0 | 54 | 4 | 4 | 4 | 30 | 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 220 | 0 | 47 | 3 | 1 | 4 | 2  | 1  | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 221 | 0 | 42 | 5 | 4 | 4 | 20 | 2  | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 222 | 1 | 50 | 7 | 2 | 1 | 20 | 2  | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 223 | 0 | 48 | 5 | 4 | 4 | 20 | 2  | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 224 | 0 | 39 | 5 | 2 | 4 | 20 | 2  | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 225 | 0 | 43 | 7 | 2 | 4 | 20 | 2  | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 226 | 0 | 30 | 5 | 2 | 4 | 13 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 227 | 0 | 55 | 7 | 2 | 4 | 13 | 2  | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 228 | 0 | 27 | 6 | 3 | 1 | 20 | 2  | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 229 | 1 | 33 | 7 | 2 | 6 | 20 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 230 | 1 | 28 | 7 | 2 | 1 | 15 | 2  | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 231 | 1 | 50 | 7 | 5 | 4 | 20 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 232 | 0 | 22 | 4 | 3 | 4 | 15 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 233 | 0 | 42 | 7 | 2 | 1 | 20 | 2  | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 234 | 0 | 57 | 7 | 2 | 6 | 20 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 235 | 0 | 32 | 3 | 3 | 3 | 20 | 2  | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 236 | 1 | 25 | 5 | 2 | 2 | 15 | 2  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 237 | 0 | 28 | 4 | 1 | 2 | 17 | 2  | 1 | 1 | 4 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 238 | 0 | 25 | 3 | 1 | 2 | 10 | 2  | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 239 | 0 | 25 | 6 | 1 | 4 | 50 | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 240 | 1 | 23 | 4 | 1 | 4 | 45 | 2  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 241 | 0 | 34 | 7 | 4 | 3 | 45 | 2  | 3 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 242 | 1 | 24 | 4 | 1 | 4 | 45 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 243 | 0 | 27 | 3 | 2 | 4 | 45 | 2  | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 244 | 0 | 31 | 5 | 2 | 1 | 45 | 2  | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 245 | 0 | 25 | 7 | 2 | 3 | 45 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 246 | 0 | 28 | 4 | 1 | 2 | 55 | 2  | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 247 | 1 | 38 | 5 | 2 | 5 | 50 | 1  | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 248 | 0 | 33 | 5 | 2 | 3 | 55 | 1  | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 249 | 0 | 48 | 7 | 4 | 3 | 60 | 2  | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 250 | 1 | 35 | 7 | 2 | 5 | 55 | 1  | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 251 | 0 | 30 | 7 | 2 | 1 | 55 | 2  | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 252 | 1 | 40 | 7 | 5 | 4 | 55 | 1  | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 253 | 1 | 34 | 7 | 3 | 4 | 80 | 1  | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 254 | 0 | 38 | 6 | 2 | 4 | 60 | 2  | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 255 | 1 | 52 | 7 | 5 | 4 | 55 | 2  | 2 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 256 | 0 | 41 | 5 | 4 | 1 | 50 | 2  | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 257 | 0 | 35 | 5 | 8 | 4 | 40 | 2  | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 258 | 1 | 48 | 3 | 2 | 4 | 70 | 2  | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 259 | 0 | 42 | 5 | 2 | 4 | 65 | 2  | 2 | 5 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 260 | 0 | 50 | 3 | 4 | 4 | 60 | 2  | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 261 | 0 | 45 | 3 | 4 | 6 | 65 | 2  | 2 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 262 | 0 | 48 | 5 | 4 | 6 | 65 | 2  | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 263 | 1 | 27 | 7 | 2 | 4 | 50 | 2  | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 264 | 0 | 43 | 7 | 2 | 4 | 50 | 2  | 1 | 3 | 5 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 265 | 1 | 32 | 7 | 4 | 4 | 50 | 1  | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 266 | 0 | 40 | 5 | 4 | 1 | 60 | 2  | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 267 | 1 | 40 | 3 | 5 | 4 | 60 | 1  | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 268 | 1 | 53 | 7 | 7 | 4 | 30 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 269 | 1 | 42 | 7 | 2 | 4 | 60 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 270 | 0 | 33 | 3 | 2 | 1 | 40 | 1  | 2 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 271 | 0 | 37 | 5 | 3 | 1 | 60 | 1  | 3 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 272 | 1 | 50 | 7 | 7 | 4 | 55 | 2  | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 273 | 1 | 63 | 7 | 7 | 4 | 55 | 32 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 274 | 0 | 65 | 7 | 7 | 4 | 60 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 275 | 0 | 35 | 5 | 2 | 1 | 60 | 1  | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 276 | 0 | 39 | 7 | 4 | 4 | 50 | 2  | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

|     |   |    |   |   |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 277 | 0 | 30 | 5 | 2 | 4 | 20 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 278 | 1 | 51 | 7 | 5 | 5 | 30 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 279 | 1 | 29 | 7 | 4 | 6 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 280 | 0 | 53 | 7 | 2 | 1 | 30 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 281 | 1 | 47 | 4 | 5 | 4 | 15 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 282 | 0 | 37 | 7 | 4 | 1 | 30 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 283 | 1 | 33 | 7 | 2 | 5 | 30 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 284 | 1 | 21 | 4 | 1 | 2 | 30 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 285 | 0 | 44 | 6 | 2 | 1 | 30 | 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 286 | 1 | 42 | 7 | 5 | 1 | 30 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 287 | 0 | 21 | 4 | 1 | 2 | 30 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 288 | 0 | 18 | 7 | 1 | 4 | 30 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 289 | 0 | 57 | 5 | 4 | 4 | 30 | 2 | 2 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 290 | 0 | 49 | 5 | 4 | 1 | 30 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 291 | 1 | 46 | 3 | 4 | 3 | 30 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 292 | 1 | 21 | 4 | 1 | 3 | 30 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 293 | 0 | 37 | 5 | 2 | 1 | 30 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 294 | 1 | 35 | 6 | 5 | 1 | 30 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 295 | 1 | 52 | 3 | 4 | 6 | 30 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 296 | 1 | 53 | 5 | 5 | 1 | 35 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 297 | 1 | 54 | 1 | 2 | 1 | 35 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 298 | 0 | 47 | 3 | 3 | 1 | 35 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 299 | 0 | 54 | 3 | 2 | 1 | 30 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 300 | 1 | 31 | 3 | 4 | 1 | 32 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 301 | 0 | 27 | 5 | 2 | 4 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 302 | 1 | 29 | 7 | 4 | 4 | 30 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 303 | 0 | 20 | 5 | 2 | 3 | 25 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 304 | 1 | 50 | 1 | 4 | 4 | 50 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 305 | 0 | 62 | 3 | 4 | 3 |    | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 306 | 1 | 35 | 4 | 5 | 4 | 20 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |

## Anexo N. Estimación de parámetros en R.

```
Console Terminal Jobs
~/
Call:
mlogit(formula = choice ~ price + time + comf, data = Tra, method = "nr")

Frequencies of alternatives:
      B      T
0.45207 0.54793

nr method
4 iterations, 0h:0m:0s
g'(-H)^-1g = 1.41E-07
gradient close to zero

Coefficients :
      Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
T:(intercept)  0.9871480  0.2275356  4.3384 1.435e-05 ***
price          0.0257374  0.0012139 21.2029 < 2.2e-16 ***
time          0.0841773  0.0336867  2.4988 0.01246 *
comf         -0.5187456  0.0998671 -5.1944 2.054e-07 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Log-Likelihood: -1624.6
McFadden R^2: 0.14326
Likelihood ratio test : chisq = 543.3 (p.value = < 2.22e-16)
>
```

Estimación del modelo logit 1 (MNL1) con datos de PD obtenido de R

```
Console Terminal Jobs
~/
Call:
mlogit(formula = choice ~ price + time + comf, data = Tr, method = "nr")

Frequencies of alternatives:
      B      T
0.39362 0.60638

nr method
4 iterations, 0h:0m:0s
g'(-H)^-1g = 5.47E-07
gradient close to zero

Coefficients :
      Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
T:(intercept)  1.080114  0.207358  5.2089 1.899e-07 ***
price          0.021113  0.001084 19.4765 < 2.2e-16 ***
time          0.075247  0.030165  2.4945 0.01261 *
comf         -0.469018  0.083758 -5.5997 2.147e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Log-Likelihood: -1899.1
McFadden R^2: 0.10575
Likelihood ratio test : chisq = 449.14 (p.value = < 2.22e-16)
>
```

Estimación del modelo logit 2 (MNL2) con datos de PD obtenido de R

## Anexo O. Listado de alineaciones en planta

| PROYECTO                            | Nueva Ruta FCCA |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
|-------------------------------------|-----------------|-------|-----------|------------|-------------|---------------|------------|-----------|-----------|-------------|---------------|--|
| FASE                                |                 |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
| GRUPO 0                             | Grupo 0         |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
| EJE 1                               |                 |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
| RESPONSABLE                         |                 |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
| *** LISTADO DE LAS ALINEACIONES *** |                 |       |           |            |             |               |            |           |           |             |               |  |
| EJE                                 | DATO            | TIPO  | LONGITUD  | P.K.       | XTANGENCIA  | YTANGENCIA    | RADIO      | PARAMETRO | AZIMUT    | CosXc/Yinf  | SenYc/Yinf    |  |
| 1                                   | 1               | RECTA | 8,050.435 | 0.000      | 315,794.801 | 8,679,636.082 |            |           | 177.4180  | 0.3473251   | -0.9377448    |  |
| 1                                   |                 | CIRC. | 160.000   | 8,050.435  | 318,990.919 | 8,672,086.828 |            | 505.964   | 177.4180  | 318,990.919 | 8,672,086.828 |  |
| 1                                   | 2               | CIRC. | 2,226.119 | 8,210.435  | 318,648.978 | 8,671,937.752 | -1,600.000 |           | 174.2349  | 320,119.720 | 8,672,567.767 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 10,436.554 | 320,477.072 | 8,671,008.184 |            | 505.964   | 85.6604   | 320,631.736 | 8,671,049.092 |  |
| 1                                   | 3               | RECTA | 322.037   | 10,596.554 | 320,631.736 | 8,671,049.092 |            |           | 82.4773   | 0.9623586   | 0.2717830     |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 10,918.591 | 320,941.651 | 8,671,136.616 |            | 357.771   | 82.4773   | 320,941.651 | 8,671,136.616 |  |
| 1                                   | 4               | CIRC. | 1,480.701 | 11,078.591 | 321,096.923 | 8,671,174.929 | 800.000    |           | 88.8435   | 321,236.403 | 8,670,387.182 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 12,559.292 | 322,032.011 | 8,670,303.468 |            | 357.771   | 206.6739  | 322,004.716 | 8,670,145.886 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 170.000   | 12,719.292 | 322,004.716 | 8,670,145.886 |            | 357.071   | 213.0401  | 322,004.716 | 8,670,145.886 |  |
| 1                                   | 5               | CIRC. | 739.970   | 12,889.292 | 321,976.464 | 8,669,978.348 | -750.000   |           | 205.8251  | 322,723.327 | 8,669,909.818 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 170.000   | 13,629.262 | 322,254.261 | 8,669,324.602 |            | 714.143   | 143.0145  | 322,881.693 | 8,669,078.944 |  |
| 1                                   | 6               | CIRC. | 188.222   | 13,799.262 | 322,396.987 | 8,669,232.762 | -1,000.000 |           | 130.3882  | 322,856.402 | 8,670,120.983 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 13,987.484 | 322,571.298 | 8,669,162.487 |            | 360.555   | 118.4057  | 322,697.367 | 8,669,130.862 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 14,117.484 | 322,697.367 | 8,669,130.862 |            | 360.555   | 114.2676  | 322,697.367 | 8,669,130.862 |  |
| 1                                   | 7               | CIRC. | 69.964    | 14,247.484 | 322,823.437 | 8,669,099.237 | 1,000.000  |           | 118.4057  | 322,538.332 | 8,668,140.740 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 14,317.448 | 322,889.745 | 8,669,076.961 |            | 360.555   | 122.8597  | 323,009.338 | 8,669,026.057 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 14,447.448 | 323,009.338 | 8,669,026.057 |            | 357.771   | 126.9977  | 323,009.338 | 8,669,026.057 |  |
| 1                                   | 8               | CIRC. | 504.155   | 14,607.448 | 323,157.212 | 8,668,965.143 | -800.000   |           | 120.6315  | 323,411.961 | 8,669,723.499 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 15,111.603 | 323,653.045 | 8,668,960.689 |            | 357.771   | 80.5122   | 323,801.990 | 8,669,018.937 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 15,271.603 | 323,801.990 | 8,669,018.937 |            | 438.178   | 74.1460   | 323,801.990 | 8,669,018.937 |  |
| 1                                   | 9               | CIRC. | 466.555   | 15,431.603 | 323,950.315 | 8,669,078.850 | 1,200.000  |           | 78.3901   | 324,349.874 | 8,667,947.324 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 120.000   | 15,898.157 | 324,409.068 | 8,669,145.863 |            | 379.473   | 103.1416  | 324,528.645 | 8,669,135.953 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 90.000    | 16,018.157 | 324,528.645 | 8,669,135.953 |            | 367.423   | 106.3247  | 324,528.645 | 8,669,135.953 |  |
| 1                                   | 10              | CIRC. | 170.873   | 16,108.157 | 324,618.282 | 8,669,127.923 | -1,500.000 |           | 104.4149  | 324,722.222 | 8,670,624.317 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 90.000    | 16,279.030 | 324,789.050 | 8,669,125.807 |            | 367.423   | 97.1628   | 324,878.859 | 8,669,131.614 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 16,369.030 | 324,878.859 | 8,669,131.614 |            | 360.555   | 95.2529   | 324,878.859 | 8,669,131.614 |  |
| 1                                   | 11              | CIRC. | 60.467    | 16,499.030 | 325,008.652 | 8,669,138.486 | 1,000.000  |           | 99.3910   | 325,018.219 | 8,668,138.532 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 16,559.497 | 325,069.097 | 8,669,137.237 |            | 360.555   | 103.2404  | 325,198.496 | 8,669,125.007 |  |
| 1                                   | 12              | RECTA | 423.309   | 16,689.497 | 325,198.496 | 8,669,125.007 |            |           | -107.3784 | 0.9932911   | -0.1156404    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 17,112.806 | 325,618.965 | 8,669,076.055 |            | 473.286   | 107.3784  | 325,618.965 | 8,669,076.055 |  |
| 1                                   | 13              | CIRC. | 917.782   | 17,272.806 | 325,777.487 | 8,669,054.532 | 1,400.000  |           | 111.0162  | 325,536.434 | 8,667,675.441 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 100.000   | 18,190.588 | 326,568.216 | 8,668,621.711 |            | 374.166   | 152.7504  | 326,634.029 | 8,668,546.428 |  |
| 1                                   | 14              | RECTA | 70.544    | 18,290.588 | 326,634.029 | 8,668,546.428 |            |           | 155.0240  | 0.6491609   | -0.7606512    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 100.000   | 18,361.132 | 326,679.824 | 8,668,492.769 |            | 360.555   | 155.0240  | 326,679.824 | 8,668,492.769 |  |
| 1                                   | 15              | CIRC. | 293.277   | 18,461.132 | 326,745.705 | 8,668,471.547 | -1,300.000 |           | 152.5755  | 327,701.370 | 8,669,298.855 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 100.000   | 18,754.410 | 326,967.060 | 8,668,226.107 |            | 360.555   | 138.2135  | 327,050.995 | 8,668,171.759 |  |
| 1                                   | 16              | RECTA | 359.908   | 18,854.410 | 327,050.995 | 8,668,171.759 |            |           | 135.7649  | 0.9480502   | -0.5327027    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 19,214.317 | 327,355.585 | 8,667,980.034 |            | 438.178   | 135.7649  | 327,355.585 | 8,667,980.034 |  |
| 1                                   | 17              | CIRC. | 1,346.602 | 19,374.317 | 327,492.827 | 8,667,897.848 | -1,200.000 |           | 131.5208  | 328,062.999 | 8,668,953.737 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 20,720.919 | 328,767.100 | 8,667,982.016 |            | 438.178   | 60.0814   | 328,892.339 | 8,668,081.540 |  |
| 1                                   | 18              | RECTA | 859.049   | 20,880.919 | 328,892.339 | 8,668,081.540 |            |           | 55.8372   | 0.7688810   | 0.6393918     |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 21,739.968 | 329,552.845 | 8,668,630.809 | 400.000    |           | 55.8372   | 329,552.845 | 8,668,630.809 |  |
| 1                                   | 19              | CIRC. | 3,655.049 | 21,899.968 | 329,673.061 | 8,668,736.325 | -1,000.000 |           | 50.7443   | 328,974.269 | 8,669,451.650 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 190.000   | 25,555.016 | 328,014.224 | 8,669,731.496 |            | 1,307.670 | 218.0566  | 329,263.569 | 8,670,817.058 |  |
| 1                                   | 20              | CIRC. | 756.884   | 25,745.016 | 327,979.311 | 8,669,545.055 | -900.000   |           | 205.2889  | 328,876.207 | 8,669,470.371 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 190.000   | 26,501.901 | 328,222.557 | 8,668,851.710 |            | 413.521   | 151.7503  | 328,362.474 | 8,668,723.306 |  |
| 1                                   | 21              | RECTA | 949.707   | 26,691.901 | 328,362.474 | 8,668,723.306 |            |           | 145.0304  | 0.7600957   | -0.6498111    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 27,641.607 | 329,084.342 | 8,668,106.176 |            | 379.473   | 145.0304  | 329,084.342 | 8,668,106.176 |  |
| 1                                   | 22              | CIRC. | 171.630   | 27,801.607 | 329,208.940 | 8,668,005.890 | -900.000   |           | 139.3716  | 329,730.733 | 8,668,739.192 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 27,973.237 | 329,357.393 | 8,667,920.279 |            | 379.473   | 127.2313  | 329,506.601 | 8,667,862.667 |  |
| 1                                   | 23              | RECTA | 274.766   | 28,133.237 | 329,506.601 | 8,667,862.667 |            |           | 121.5724  | 0.9431347   | -0.3324108    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 170.000   | 28,408.003 | 329,765.743 | 8,667,771.332 |            | 357.071   | 121.5724  | 329,765.743 | 8,667,771.332 |  |
| 1                                   | 24              | CIRC. | 223.700   | 28,578.003 | 329,928.002 | 8,667,720.946 | -750.000   |           | 114.3574  | 330,095.716 | 8,668,451.953 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 170.000   | 28,801.704 | 330,150.225 | 8,667,703.937 |            | 357.071   | 95.3691   | 330,318.263 | 8,667,729.041 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 28,971.704 | 330,318.263 | 8,667,729.041 |            | 360.555   | 88.1541   | 330,318.263 | 8,667,729.041 |  |
| 1                                   | 25              | CIRC. | 444.210   | 29,101.704 | 330,446.486 | 8,667,750.315 | 1,000.000  |           | 92.2921   | 330,567.265 | 8,666,757.635 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 29,545.914 | 330,884.806 | 8,667,705.880 |            | 360.555   | 120.5714  | 331,006.151 | 8,667,659.307 |  |
| 1                                   | 26              | RECTA | 102.521   | 29,675.914 | 331,006.151 | 8,667,659.307 |            |           | 124.7094  | 0.9256167   | -0.3784624    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 130.000   | 29,778.435 | 331,101.046 | 8,667,620.507 |            | 378.153   | 124.7094  | 331,101.046 | 8,667,620.507 |  |
| 1                                   | 27              | CIRC. | 839.878   | 29,908.435 | 331,220.365 | 8,667,568.954 | 1,100.000  |           | 128.4713  | 330,744.653 | 8,666,577.139 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 30,748.313 | 331,774.122 | 8,666,964.687 |            | 419.524   | 177.0788  | 331,823.157 | 8,666,812.426 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 30,908.313 | 331,823.157 | 8,666,812.426 |            | 379.473   | 181.7088  | 331,823.157 | 8,666,812.426 |  |
| 1                                   | 28              | CIRC. | 714.400   | 31,068.313 | 331,873.006 | 8,666,660.448 | -900.000   |           | 176.0499  | 332,710.065 | 8,666,991.104 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 190.000   | 31,782.713 | 332,358.916 | 8,666,162.434 |            | 413.521   | 125.5164  | 332,538.548 | 8,666,100.818 |  |
| 1                                   | 29              | RECTA | 2,181.984 | 31,972.713 | 332,538.548 | 8,666,100.818 |            |           | 118.7966  | 0.9567278   | -0.2909844    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 190.000   | 34,154.697 | 334,626.113 | 8,665,465.894 |            | 631.664   | 118.7966  | 334,626.113 | 8,665,465.894 |  |
| 1                                   | 30              | CIRC. | 6,167.669 | 34,344.697 | 334,808.687 | 8,665,413.359 | -2,100.000 |           | 115.9166  | 335,328.271 | 8,667,448.066 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 40,512.366 | 336,250.435 | 8,669,334.760 |            | 916.515   | 328.9423  | 336.597.795 | 8,669,136.741 |  |
| 1                                   | 31              | CIRC. | 3,563.526 | 40,672.366 | 336,103.839 | 8,669,398.728 | -1,500.000 |           | 323.1218  | 335,570.943 | 8,667,996.579 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 44,235.891 | 334,214.888 | 8,667,355.376 |            | 489.898   | 171.8811  | 334,288.383 | 8,667,213.272 |  |
| 1                                   | 32              | RECTA | 1,778.248 | 44,395.891 | 334,288.383 | 8,667,213.272 |            |           | 168.4858  | 0.4750530   | -0.8799572    |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 46,174.139 | 335,133.145 | 8,665,648.490 |            | 400.000   | 168.4858  | 335.133.145 | 8,665,648.490 |  |
| 1                                   | 33              | CIRC. | 330.906   | 46,334.139 | 335,205.352 | 8,665,505.761 | 1,000.000  |           | 173.5787  | 334.290.245 | 8,665,102.549 |  |
| 1                                   |                 | CLOT. | 160.000   | 46,665.046 | 335,286.709 | 8,665,186.568 |            | 400.000   | 194.6449  | 335         |               |  |

|   |    |       |            |             |             |               |            |           |          |             |               |
|---|----|-------|------------|-------------|-------------|---------------|------------|-----------|----------|-------------|---------------|
| 1 | 49 | RECTA | 135.818    | 91,231.463  | 345,275.814 | 8,664,833.006 |            |           | 59.4836  | 0.8042222   | 0.5943287     |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 91,367.280  | 345,385.041 | 8,664,913.726 |            | 357.771   | 59.4836  | 345,385.041 | 8,664,913.726 |
| 1 | 50 | CIRC. | 406.582    | 91,527.280  | 345,510.421 | 8,665,013.010 | -800.000   |           | 53.1174  | 344,973.103 | 8,665,805.706 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 91,933.862  | 345,730.932 | 8,665,349.396 |            | 357.771   | 20.7626  | 345,771.965 | 8,665,503.972 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 92,093.862  | 345,771.965 | 8,665,503.972 |            | 593.296   | 14.3964  | 345,771.965 | 8,665,503.972 |
| 1 | 51 | CIRC. | 10,472.124 | 92,253.862  | 345,809.724 | 8,665,659.443 | 2,200.000  |           | 16.7114  | 347,934.360 | 8,665,088.548 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 102,725.986 | 347,262.877 | 8,662,993.528 |            | 2,962.769 | 319.7460 | 350,941.100 | 8,664,117.338 |
| 1 | 52 | CIRC. | 1,595.681  | 102,915.986 | 347,084.718 | 8,663,059.377 | 2,100.000  |           | 325.3750 | 347,899.767 | 8,664,994.756 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 104,511.667 | 345,975.793 | 8,664,153.136 |            | 631.664   | 373.7484 | 345,904.937 | 8,664,329.411 |
| 1 | 53 | RECTA | 1,210.544  | 104,701.667 | 345,904.937 | 8,664,329.411 |            |           | 376.6284 | -0.3589295  | 0.9333647     |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 105,912.211 | 345,470.437 | 8,665,459.290 |            | 379.473   | 376.6284 | 345,470.437 | 8,665,459.290 |
| 1 | 54 | CIRC. | 158.442    | 106,072.211 | 345,417.476 | 8,665,610.211 | 900.000    |           | 382.2872 | 346,282.864 | 8,665,857.402 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 106,230.653 | 345,387.559 | 8,665,765.595 |            | 379.473   | 393.4947 | 345,380.696 | 8,665,925.391 |
| 1 | 55 | RECTA | 48.319     | 106,390.653 | 345,380.696 | 8,665,925.391 |            |           | 399.1535 | -0.0132960  | 0.9999116     |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 106,438.972 | 345,380.696 | 8,665,973.700 |            | 377.492   | 399.1535 | 345,380.696 | 8,665,973.700 |
| 1 | 56 | CIRC. | 527.498    | 106,628.972 | 345,385.543 | 8,666,163.491 | 750.000    |           | 7.2174   | 346,130.729 | 8,666,078.645 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 107,156.470 | 345,617.256 | 8,666,625.314 |            | 357.071   | 51.9928  | 345,749.524 | 8,666,731.954 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 107,326.470 | 345,749.524 | 8,666,731.954 |            | 681.175   | 59.2078  | 345,749.524 | 8,666,731.954 |
| 1 | 57 | CIRC. | 1,447.897  | 107,486.470 | 345,876.898 | 8,666,828.775 | -2,900.000 |           | 57.4516  | 344,079.794 | 8,669,104.829 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 108,934.367 | 346,747.275 | 8,667,967.047 |            | 742.294   | 25.6668  | 346,817.981 | 8,668,143.390 |
| 1 | 58 | RECTA | 1,040.171  | 109,124.367 | 346,817.981 | 8,668,143.390 |            |           | 23.5813  | 0.3620014   | 0.9321775     |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 110,164.538 | 347,194.525 | 8,669,113.015 |            | 419.524   | 23.5813  | 347,194.525 | 8,669,113.015 |
| 1 | 59 | CIRC. | 3,694.336  | 110,324.538 | 347,256.029 | 8,669,260.681 | 1,100.000  |           | 28.2113  | 348,249.779 | 8,668,789.023 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 114,018.874 | 349,118.746 | 8,668,114.564 |            | 1,583.667 | 242.0192 | 346,996.522 | 8,667,647.504 |
| 1 | 60 | CIRC. | 3,209.826  | 114,208.874 | 348,990.218 | 8,667,974.928 | 1,200.000  |           | 252.5572 | 348,176.449 | 8,668,856.846 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 117,418.700 | 347,052.878 | 8,669,278.259 |            | 451.664   | 22.8437  | 347,120.011 | 8,669,434.401 |
| 1 | 61 | RECTA | 500.324    | 117,588.700 | 347,120.011 | 8,669,434.401 |            |           | 27.3531  | 0.4165632   | 0.9091068     |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 118,089.024 | 347,328.427 | 8,669,889.249 |            | 368.782   | 27.3531  | 347,328.427 | 8,669,889.249 |
| 1 | 62 | CIRC. | 221.612    | 118,259.024 | 347,393.694 | 8,670,046.128 | -800.000   |           | 20.5890  | 346,635.168 | 8,670,300.371 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 118,480.636 | 347,434.307 | 8,670,263.267 |            | 357.771   | 2.9537   | 347,431.065 | 8,670,423.163 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 118,640.636 | 347,431.065 | 8,670,423.163 |            | 438.178   | 396.5875 | 347,431.065 | 8,670,423.163 |
| 1 | 63 | CIRC. | 136.068    | 118,800.636 | 347,426.046 | 8,670,583.053 | 1,200.000  |           | 0.8316   | 348,625.944 | 8,670,567.378 |
| 1 |    | CLOT. | 110.000    | 118,936.704 | 347,435.525 | 8,670,718.717 |            | 363.318   | 8.0502   | 347,452.723 | 8,670,827.354 |
| 1 |    | CLOT. | 90.000     | 119,046.704 | 347,452.723 | 8,670,827.354 |            | 354.965   | 10.9680  | 347,452.723 | 8,670,827.354 |
| 1 | 64 | CIRC. | 218.922    | 119,136.704 | 347,467.201 | 8,670,916.177 | -1,400.000 |           | 8.9218   | 346,080.926 | 8,671,111.736 |
| 1 |    | CLOT. | 90.000     | 119,354.796 | 347,480.755 | 8,671,133.627 |            | 354.965   | 399.0045 | 347,477.420 | 8,671,223.561 |
| 1 |    | CLOT. | 110.000    | 119,444.796 | 347,477.420 | 8,671,223.561 |            | 363.318   | 396.9582 | 347,477.420 | 8,671,223.561 |
| 1 | 65 | CIRC. | 333.668    | 119,554.796 | 347,473.846 | 8,671,335.493 | 1,200.000  |           | 399.8761 | 348,673.844 | 8,671,335.829 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 119,888.464 | 347,519.296 | 8,671,662.967 |            | 438.178   | 17.5777  | 347,569.700 | 8,671,814.786 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 120,048.464 | 347,569.700 | 8,671,814.786 |            | 632.456   | 21.9218  | 347,569.700 | 8,671,814.786 |
| 1 | 66 | CIRC. | 915.378    | 120,208.464 | 347,621.864 | 8,671,966.036 | -2,500.000 |           | 19.7846  | 345,241.623 | 8,672,730.531 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 121,123.842 | 347,737.791 | 8,672,868.898 |            | 689.202   | 396.4747 | 347,722.474 | 8,673,058.267 |
| 1 | 67 | RECTA | 1,502.935  | 121,313.842 | 347,722.474 | 8,673,058.267 |            |           | 394.0555 | -0.0932397  | 0.9956437     |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 122,816.778 | 347,582.341 | 8,674,554.656 | -1,200.000 |           | 477.493  | 394.0555    | 347,582.341   |
| 1 | 68 | CIRC. | 2,384.427  | 123,006.778 | 347,559.646 | 8,674,743.242 |            | 675.278   | 389.0156 | 346,377.465 | 8,674,537.217 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 125,391.204 | 345,711.060 | 8,675,535.168 |            |           | 262.5179 | 346,047.180 | 8,675,711.526 |
| 1 | 69 | CIRC. | 1,837.516  | 125,581.204 | 345,563.697 | 8,675,415.727 | -800.000   |           | 249.9181 | 346,130.110 | 8,674,850.770 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 127,418.720 | 346,083.725 | 8,674,052.116 |            | 389.872   | 103.6933 | 346,273.564 | 8,674,056.133 |
| 1 | 70 | RECTA | 1,666.487  | 127,608.720 | 346,273.564 | 8,674,056.133 |            |           | 96.1334  | 0.9981561   | 0.0060992     |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 129,275.207 | 347,936.978 | 8,674,157.287 |            | 651.920   | 96.1334  | 347,936.978 | 8,674,157.287 |
| 1 | 71 | CIRC. | 564.345    | 129,445.207 | 348,106.528 | 8,674,169.528 | -2,500.000 |           | 93.9689  | 347,870.041 | 8,676,658.317 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 130,009.552 | 348,657.583 | 8,674,285.602 |            | 651.920   | 79.5980  | 348,817.665 | 8,674,342.795 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 130,179.552 | 348,817.665 | 8,674,342.795 |            | 412.311   | 77.4335  | 348,817.665 | 8,674,342.795 |
| 1 | 72 | CIRC. | 1,228.293  | 130,349.552 | 348,978.651 | 8,674,397.244 | 1,000.000  |           | 82.8447  | 349,244.876 | 8,673,433.333 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 131,577.845 | 350,063.389 | 8,674,007.821 |            | 435.890   | 161.0403 | 350,162.440 | 8,673,845.772 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 131,767.845 | 350,162.440 | 8,673,845.772 |            | 435.890   | 167.0882 | 350,162.440 | 8,673,845.772 |
| 1 | 73 | CIRC. | 1,661.261  | 131,957.845 | 350,261.491 | 8,673,683.722 | -1,000.000 |           | 161.0403 | 351,080.004 | 8,674,258.210 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 133,619.106 | 351,726.088 | 8,673,494.944 |            | 1,067.708 | 55.2811  | 352,252.739 | 8,674,487.500 |
| 1 | 74 | CIRC. | 3,241.174  | 133,809.106 | 351,859.358 | 8,673,630.029 | -1,200.000 |           | 44.1933  | 350,937.069 | 8,674,397.742 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 137,050.280 | 350,430.294 | 8,675,485.483 |            | 438.178   | 272.2437 | 350,288.435 | 8,675,411.550 |
| 1 | 75 | RECTA | 962.749    | 137,210.280 | 350,288.435 | 8,675,411.550 |            |           | 267.9996 | -0.8763034  | -0.4817596    |
| 1 |    | CLOT. | 90.000     | 138,173.028 | 349,444.775 | 8,674,947.737 |            | 379.473   | 267.9996 | 349,444.775 | 8,674,947.737 |
| 1 | 76 | CIRC. | 29.694     | 138,263.028 | 349,365.508 | 8,674,905.121 | 1,600.000  |           | 269.7901 | 348,634.426 | 8,676,328.329 |
| 1 |    | CLOT. | 100.000    | 138,292.722 | 349,338.970 | 8,674,891.799 |            | 400.000   | 270.9716 | 349,248.293 | 8,674,849.647 |
| 1 |    | CLOT. | 100.000    | 138,392.722 | 349,248.293 | 8,674,849.647 |            | 387.298   | 272.9610 | 349,248.293 | 8,674,849.647 |
| 1 | 77 | CIRC. | 31.921     | 138,492.722 | 349,157.646 | 8,674,807.432 | -1,500.000 |           | 270.8399 | 349,820.961 | 8,673,462.064 |
| 1 |    | CLOT. | 90.000     | 138,524.644 | 349,129.168 | 8,674,793.012 |            | 367.423   | 269.4841 | 349,050.160 | 8,674,749.918 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 138,614.644 | 349,050.160 | 8,674,749.918 |            | 357.071   | 267.5743 | 349,050.160 | 8,674,749.918 |
| 1 | 78 | CIRC. | 2,335.839  | 138,784.644 | 348,898.801 | 8,674,672.733 | 750.000    |           | 274.7893 | 348,609.497 | 8,675,364.689 |
| 1 |    | CLOT. | 170.000    | 141,120.482 | 348,301.521 | 8,676,048.539 |            | 357.071   | 73.0615  | 348,461.263 | 8,676,106.414 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 141,290.482 | 348,461.263 | 8,676,106.414 |            | 632.456   | 80.2765  | 348,461.263 | 8,676,106.414 |
| 1 | 79 | CIRC. | 837.992    | 141,450.482 | 348,613.109 | 8,676,156.816 | -2,500.000 |           | 78.2393  | 347,775.112 | 8,678,512.184 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 142,288.475 | 349,341.282 | 8,676,563.566 |            | 689.202   | 56.9000  | 349,486.305 | 8,676,686.300 |
| 1 | 80 | RECTA | 1,661.663  | 142,478.475 | 349,486.305 | 8,676,686.300 |            |           | 54.4808  | 0.7505846   | 0.6556274     |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 144,400.138 | 350,741.001 | 8,677,775.732 |            | 413.521   | 54.4808  | 350,741.001 | 8,677,775.732 |
| 1 | 81 | CIRC. | 1,180.947  | 144,330.138 | 350,888.687 | 8,677,895.119 | 900.000    |           | 61.2007  | 351,403.867 | 8,677,157.156 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 145,511.085 | 351,985.524 | 8,677,843.943 |            | 413.521   | 144.7356 | 352,121.452 | 8,677,711.323 |
| 1 | 82 | RECTA | 658.316    | 145,701.085 | 352,121.452 | 8,677,711.323 |            |           | 151.4555 | 0.6907567   | -0.7230872    |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 146,359.401 | 352,576.188 | 8,677,235.303 |            | 389.872   | 151.4555 | 352,576.188 | 8,677,235.303 |
| 1 | 83 | CIRC. | 1,874.960  | 146,549.401 | 352,701.814 | 8,677,092.921 | 800.000    |           | 159.0154 | 352,061.950 | 8,676,612.739 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 148,424.362 | 351,958.942 | 8,675,819.398 |            | 389.872   | 308.2200 | 351,773.165 | 8,675,858.663 |
| 1 |    | CLOT. | 190.000    | 148,614.362 | 351,773.165 | 8,675,858.663 |            | 435.890   | 315.7798 | 351,773.165 | 8,675,858.663 |
| 1 | 84 | CIRC. | 509.031    | 148,804.362 | 351,587.663 | 8,675,999.407 | -1,000.000 |           | 309.7320 | 351,435.388 | 8,674,911.068 |
| 1 |    | CLOT. | 160.000    | 149,313.393 | 351,086.708 | 8,675,848.310 |            | 400.000   | 277.3260 | 350,939.979 | 8,675,784.625 |
| 1 | 85 | RECTA | 157.365    | 149,473.393 | 350,939.979 | 8,675,784.625 |            |           | 272.2331 | -0.9        |               |

|   |           |           |             |             |               |            |         |          |             |               |
|---|-----------|-----------|-------------|-------------|---------------|------------|---------|----------|-------------|---------------|
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 167,949.205 | 355,167.105 | 8,676,519.303 |            | 473.286 | 136.5569 | 355,304.635 | 8,676,437.584 |
| 1 | 99 RECTA  | 485.369   | 168,109.205 | 355,304.635 | 8,676,437.584 |            |         | 132.9191 | 0.8692604   | -0.4943545    |
| 1 | CLOT.     | 170.000   | 168,594.574 | 355,726.547 | 8,676,197.640 |            | 368.782 | 132.9191 | 355,726.547 | 8,676,197.640 |
| 1 | 100 CIRC. | 260.515   | 168,764.574 | 355,877.129 | 8,676,118.924 | -800.000   |         | 126.1550 | 356,196.634 | 8,676,852.351 |
| 1 | CLOT.     | 170.000   | 169,025.089 | 356,128.557 | 8,676,055.253 |            | 368.782 | 105.4239 | 356,298.455 | 8,676,052.813 |
| 1 | 101 RECTA | 47.426    | 169,195.089 | 356,298.455 | 8,676,052.813 |            |         | 98.6598  | 0.9997784   | 0.0210498     |
| 1 | CLOT.     | 170.000   | 169,242.514 | 356,345.870 | 8,676,053.811 |            | 357.071 | 98.6598  | 356,345.870 | 8,676,053.811 |
| 1 | 102 CIRC. | 20.675    | 169,412.514 | 356,515.479 | 8,676,063.800 | -750.000   |         | 91.4448  | 356,414.993 | 8,676,807.038 |
| 1 | CLOT.     | 170.000   | 169,433.189 | 356,535.926 | 8,676,066.852 |            | 357.071 | 98.6899  | 356,701.060 | 8,676,106.828 |
| 1 | 103 RECTA | 571.395   | 169,603.189 | 356,701.060 | 8,676,106.828 |            |         | 82.4749  | 0.9623480   | 0.2718205     |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 170,174.584 | 357,250.940 | 8,676,262.144 |            | 616.441 | 82.4749  | 357,250.940 | 8,676,262.144 |
| 1 | 104 CIRC. | 1.543.572 | 170,364.584 | 357,434.563 | 8,676,310.884 | 2,000.000  |         | 85.4988  | 357,886.202 | 8,674,362.546 |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 171,908.156 | 358,921.330 | 8,676,073.834 |            | 616.441 | 134.6322 | 359,080.692 | 8,675,970.410 |
| 1 | 105 RECTA | 4,182.445 | 172,098.156 | 359,080.692 | 8,675,970.410 |            |         | 137.6562 | 0.8301042   | -0.5576083    |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 176,280.601 | 362,552.557 | 8,673,638.243 |            | 477.493 | 137.6562 | 362,552.557 | 8,673,638.243 |
| 1 | 106 CIRC. | 1,490.514 | 176,470.601 | 362,707.384 | 8,673,528.204 | 1,200.000  |         | 142.6961 | 361,961.572 | 8,672,588.116 |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 177,961.115 | 363,092.088 | 8,672,185.707 |            | 954.987 | 221.7703 | 362,694.572 | 8,671,541.928 |
| 1 | 107 CIRC. | 7,517.129 | 178,151.115 | 363,015.624 | 8,672,011.939 | 1,600.000  |         | 230.5901 | 361,596.808 | 8,672,751.507 |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 185,668.244 | 362,316.178 | 8,674,180.670 |            | 551.362 | 129.6872 | 362,482.352 | 8,674,088.610 |
| 1 | 108 RECTA | 1,161.324 | 185,858.244 | 362,482.352 | 8,674,088.610 |            |         | 133.4671 | 0.8649729   | -0.5018186    |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 187,019.567 | 363,486.866 | 8,673,505.836 |            | 616.441 | 133.4671 | 363,486.866 | 8,673,505.836 |
| 1 | 109 CIRC. | 2,654.868 | 187,209.567 | 363,652.683 | 8,673,413.114 | -2,000.000 |         | 130.4432 | 364,573.046 | 8,675,188.763 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 189,864.436 | 366,074.596 | 8,673,867.646 |            | 565.685 | 45.9361  | 366,177.037 | 8,673,990.537 |
| 1 | 110 RECTA | 194.147   | 190,024.436 | 366,177.037 | 8,673,990.537 |            | 363.318 | 43.3896  | 0.6300070   | 0.7765895     |
| 1 | CLOT.     | 110.000   | 190,218.582 | 366,299.351 | 8,674,141.309 |            |         | 43.3896  | 366,299.351 | 8,674,141.309 |
| 1 | 111 CIRC. | 57.259    | 190,328.582 | 366,369.942 | 8,674,225.657 | 1,200.000  |         | 46.3074  | 367,266.232 | 8,673,427.746 |
| 1 | CLOT.     | 110.000   | 190,385.842 | 366,409.021 | 8,674,267.501 |            | 363.318 | 49.3451  | 366,488.356 | 8,674,343.683 |
| 1 | 112 CIRC. | 130.000   | 190,495.842 | 366,488.356 | 8,674,343.683 |            | 360.555 | 52.2630  | 366,488.356 | 8,674,343.683 |
| 1 | CLOT.     | 130.000   | 190,625.842 | 366,581.529 | 8,674,434.305 | -1,000.000 |         | 48.1250  | 365,853.906 | 8,675,120.281 |
| 1 | 113 CIRC. | 305.789   | 190,625.842 | 366,581.529 | 8,674,434.305 |            | 360.555 | 28.6578  | 366,805.715 | 8,674,804.543 |
| 1 | CLOT.     | 130.000   | 190,931.631 | 366,754.285 | 8,674,685.176 |            | 357.071 | 24.5198  | 366,805.715 | 8,674,804.543 |
| 1 | 114 RECTA | 20.962    | 191,061.631 | 366,805.715 | 8,674,804.543 | 750.000    |         | 31.7348  | 367,534.179 | 8,674,600.901 |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 191,231.631 | 366,875.449 | 8,674,959.476 |            | 377.492 | 33.5141  | 366,994.633 | 8,675,133.270 |
| 1 | 115 RECTA | 287.965   | 191,252.592 | 366,885.727 | 8,674,977.744 |            |         | 41.5779  | 0.6076552   | 0.7942010     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 191,442.592 | 366,994.633 | 8,675,133.270 |            | 400.000 | 41.5779  | 367,169.616 | 8,675,361.972 |
| 1 | 116 CIRC. | 224.159   | 191,730.557 | 367,169.616 | 8,675,361.972 | -1,000.000 |         | 36.4850  | 366,423.170 | 8,676,033.797 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 192,114.716 | 367,263.391 | 8,675,491.554 |            | 400.000 | 22.2146  | 367,409.502 | 8,675,844.906 |
| 1 | 117 RECTA | 85.264    | 192,274.716 | 367,409.502 | 8,675,844.906 |            | 400.000 | 17.1217  | 367,409.502 | 8,675,844.906 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 192,434.716 | 367,456.101 | 8,675,997.922 | 1,000.000  |         | 22.2146  | 368,395.034 | 8,675,856.014 |
| 1 | 118 CIRC. | 160.000   | 192,519.980 | 367,488.632 | 8,676,076.708 |            | 400.000 | 27.6428  | 367,563.564 | 8,676,218.026 |
| 1 | 119 RECTA | 451.730   | 192,679.980 | 367,563.564 | 8,676,218.026 |            |         | 32.7356  | 0.4918474   | 0.8706814     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 193,131.710 | 367,785.746 | 8,676,611.339 |            | 379.473 | 32.7356  | 367,785.746 | 8,676,611.339 |
| 1 | 120 CIRC. | 185.782   | 193,291.710 | 367,868.505 | 8,676,748.207 | 900.000    |         | 38.3945  | 368,609.728 | 8,676,237.730 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 193,477.491 | 367,988.869 | 8,676,889.292 |            | 379.473 | 51.5358  | 368,110.993 | 8,676,992.577 |
| 1 | 121 RECTA | 100.000   | 193,637.491 | 368,110.993 | 8,676,992.577 |            | 387.298 | 55.0726  | 368,110.993 | 8,676,992.577 |
| 1 | CLOT.     | 82.556    | 193,737.491 | 368,188.526 | 8,677,055.724 | -1,500.000 |         | 55.0726  | 367,215.656 | 8,678,197.444 |
| 1 | 122 CIRC. | 100.000   | 193,820.048 | 368,249.859 | 8,677,110.970 |            | 387.298 | 51.5688  | 368,320.737 | 8,677,181.506 |
| 1 | 123 RECTA | 260.955   | 193,920.048 | 368,320.737 | 8,677,181.506 |            |         | 49.4468  | 0.7009352   | 0.7132250     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 194,181.003 | 368,503.650 | 8,677,367.626 |            | 379.473 | 49.4468  | 368,503.650 | 8,677,367.626 |
| 1 | 124 CIRC. | 309.625   | 194,341.003 | 368,612.332 | 8,677,484.973 | -900.000   |         | 43.7879  | 367,916.962 | 8,678,056.341 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 194,650.628 | 368,764.298 | 8,677,752.988 |            | 379.473 | 21.8864  | 368,809.195 | 8,677,906.501 |
| 1 | 125 RECTA | 305.991   | 194,810.628 | 368,809.195 | 8,677,906.501 |            |         | 16.2276  | 0.2521505   | 0.9676880     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 195,116.619 | 368,886.351 | 8,678,202.605 |            | 438.178 | 16.2276  | 368,886.351 | 8,678,202.605 |
| 1 | 126 CIRC. | 51.594    | 195,276.619 | 368,930.116 | 8,678,356.470 | 1,200.000  |         | 20.4717  | 370,068.605 | 8,677,977.204 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 195,328.213 | 368,947.470 | 8,678,405.054 |            | 438.178 | 23.2088  | 369,011.089 | 8,678,551.828 |
| 1 | 127 RECTA | 232.634   | 195,488.213 | 369,011.089 | 8,678,551.828 |            |         | 27.4530  | 0.4179888   | 0.9084522     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 195,720.847 | 369,108.328 | 8,678,763.164 |            | 473.286 | 27.4530  | 369,108.328 | 8,678,763.164 |
| 1 | 128 CIRC. | 440.007   | 195,880.847 | 369,172.416 | 8,678,909.743 | -1,400.000 |         | 23.8151  | 367,869.238 | 8,679,421.335 |
| 1 | CLOT.     | 90.000    | 196,320.854 | 369,266.736 | 8,679,337.670 |            | 354.965 | 3.8068   | 369,270.188 | 8,679,427.599 |
| 1 | 129 RECTA | 120.000   | 196,410.854 | 369,270.188 | 8,679,427.599 |            | 363.318 | 1.7605   | 369,270.188 | 8,679,427.599 |
| 1 | CLOT.     | 24.955    | 196,530.854 | 369,275.686 | 8,679,547.458 | 1,100.000  |         | 5.2330   | 370,371.972 | 8,679,457.140 |
| 1 | 130 RECTA | 120.000   | 196,555.809 | 369,278.017 | 8,679,572.303 |            | 363.318 | 6.6772   | 369,294.908 | 8,679,691.092 |
| 1 | CLOT.     | 314.123   | 196,675.809 | 369,294.908 | 8,679,691.092 |            |         | 10.1497  | 0.1587565   | 0.9873178     |
| 1 | 131 CIRC. | 110.000   | 196,989.932 | 369,344.777 | 8,680,001.232 |            | 363.318 | 10.1497  | 369,344.777 | 8,680,001.232 |
| 1 | 132 RECTA | 56.235    | 197,099.932 | 369,363.896 | 8,680,109.547 | 1,200.000  |         | 13.0675  | 370,538.704 | 8,679,864.956 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 197,156.167 | 369,376.643 | 8,680,164.312 |            | 438.178 | 16.0509  | 369,423.993 | 8,680,317.297 |
| 1 | 133 CIRC. | 119.690   | 197,316.167 | 369,423.993 | 8,680,317.297 |            |         | 20.2950  | 0.3134208   | 0.9496144     |
| 1 | CLOT.     | 90.000    | 197,435.856 | 369,460.906 | 8,680,430.956 |            | 367.423 | 20.2950  | 369,460.906 | 8,680,430.956 |
| 1 | 134 RECTA | 431.169   | 197,525.856 | 369,489.966 | 8,680,516.132 | 1,500.000  |         | 22.2049  | 370,899.645 | 8,680,003.486 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 197,957.026 | 369,693.141 | 8,680,894.748 |            | 489.898 | 40.5042  | 369,792.711 | 8,681,019.965 |
| 1 | 135 RECTA | 223.796   | 198,117.026 | 369,792.711 | 8,681,019.965 |            |         | 43.8996  | 0.6362075   | 0.7715180     |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 198,340.821 | 369,935.092 | 8,681,192.628 |            | 579.655 | 43.8996  | 369,935.092 | 8,681,192.628 |
| 1 | 136 CIRC. | 358.863   | 198,500.821 | 370,038.437 | 8,681,314.760 | 2,100.000  |         | 46.3248  | 371,606.565 | 8,679,197.987 |
| 1 | CLOT.     | 60.000    | 198,859.685 | 370,298.809 | 8,681,561.086 |            | 354.965 | 57.2038  | 370,346.108 | 8,681,598.001 |
| 1 | 137 RECTA | 70.000    | 198,919.685 | 370,346.108 | 8,681,598.001 |            | 354.965 | 58.1133  | 370,346.108 | 8,681,598.001 |
| 1 | CLOT.     | 301.823   | 198,989.685 | 370,401.215 | 8,681,641.164 | -1,800.000 |         | 56.8754  | 369,273.031 | 8,683,043.732 |
| 1 | 138 CIRC. | 70.000    | 199,291.507 | 370,619.474 | 8,681,849.123 |            | 354.965 | 46.2006  | 370,665.247 | 8,681,902.081 |
| 1 | CLOT.     | 727.759   | 199,361.507 | 370,665.247 | 8,681,902.081 |            |         | 44.9627  | 0.6490026   | 0.7607862     |
| 1 | 139 RECTA | 190.000   | 200,089.267 | 371,137.565 | 8,682,455.751 |            | 729.383 | 44.9627  | 371,137.565 | 8,682,455.751 |
| 1 | CLOT.     | 1,334.016 | 200,279.267 | 371,262.496 | 8,682,598.889 | 2,800.000  |         | 47.1227  | 373,329.828 | 8,680,710.466 |
| 1 | 140 CIRC. | 110.000   | 201,613.282 | 372,358.778 | 8,683,353.753 |            | 374.166 | 77.4534  | 372,405.777 | 8,683,353.753 |
| 1 | CLOT.     | 110.000   | 201,663.282 | 372,405.777 | 8,683,353.753 |            | 363.318 | 78.0218  | 372,405.777 | 8,683,353.753 |
| 1 | 141 RECTA | 112.620   | 201,773.282 | 372,508.696 | 8,683,392.552 | -1,200.000 |         | 75.1040  | 372,051.288 | 8,684,501.956 |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 201,885.902 | 372,610.648 | 8,683,440.299 |            | 477.493 | 69.1293  | 372,773.792 | 8,683,537.582 |
| 1 | 142 RECTA | 2,301.133 | 202,075.902 | 372,773.792 | 8,683,537.582 |            |         | 64.0894  | 0.8450796   | 0.5346405     |
| 1 | CLOT.     | 190.000   | 204,377.035 | 374,718.433 | 8,684,767.861 |            | 435.890 | 64.0894  | 374,718.433 | 8,684,767.861 |
| 1 | 143 CIRC. | 1,327.087 | 204,567.035 | 374,875.639 | 8,684,774.432 | -1,000.000 |         | 58.0415  | 374,263.247 | 8,685,664.987 |
| 1 | CLOT.     | 160.000   | 205,894.122 | 375,178.213 | 8,686,068.518 |            | 400.    |          |             |               |

|   |     |       |           |             |             |               |            |         |          |             |               |
|---|-----|-------|-----------|-------------|-------------|---------------|------------|---------|----------|-------------|---------------|
| 1 | 150 | CIRC. | 199.765   | 213.345.306 | 372.244.414 | 8,692,764.553 | 1,000.000  |         | 358.0762 | 373,035.302 | 8,693,376.514 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 213.545.071 | 372.138.706 | 8,692,933.666 |            | 360.555 | 370.7936 | 372,086.249 | 8,693,052.586 |
| 1 | 151 | RECTA | 109.165   | 213.675.071 | 372,086.249 | 8,693,052.586 |            |         | 374.9316 | -0.3836755  | 0.9234680     |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 213.784.236 | 372,044.364 | 8,693,153.396 |            | 360.555 | 374.9316 | 372,044.364 | 8,693,153.396 |
| 1 | 152 | CIRC. | 1,262.344 | 213.914.236 | 371,997.108 | 8,693,274.477 | 1,000.000  |         | 379.0697 | 372,943.547 | 8,693,597.359 |
| 1 |     | CLOT. | 190.000   | 215.176.580 | 372,348.580 | 8,694,401.109 |            | 435.890 | 59.4330  | 372,508.077 | 8,694,504.219 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000    | 215.366.580 | 372,508.077 | 8,694,504.219 |            | 354.965 | 65.4809  | 372,508.077 | 8,694,504.219 |
| 1 | 153 | CIRC. | 289.332   | 215.456.580 | 372,584.662 | 8,694,551.484 | -1,400.000 |         | 63.4346  | 371,824.036 | 8,695,726.834 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000    | 215.745.913 | 372,809.656 | 8,694,732.573 |            | 354.965 | 50.2778  | 372,872.197 | 8,694,797.287 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 215.835.913 | 372,872.197 | 8,694,797.287 |            | 360.555 | 48.2316  | 372,872.197 | 8,694,797.287 |
| 1 | 154 | CIRC. | 68.009    | 215.965.913 | 372,963.540 | 8,694,889.753 | 1,000.000  |         | 52.3696  | 373,643.844 | 8,694,156.823 |
| 1 |     | CLOT. | 190.000   | 216.033.921 | 373,014.920 | 8,694,934.290 |            | 435.890 | 56.6992  | 373,169.844 | 8,695,044.152 |
| 1 | 155 | RECTA | 7,069.692 | 216.223.921 | 373,169.844 | 8,695,044.152 |            |         | 62.7471  | 0.6336193   | 0.5523394     |
| 1 |     | CLOT. | 190.000   | 223.293.613 | 379,063.276 | 8,699,949.022 |            | 435.890 | 62.7471  | 379,063.276 | 8,698,949.022 |
| 1 | 156 | CIRC. | 1,514.610 | 223.493.613 | 379,218.200 | 8,699,058.884 | -1,000.000 |         | 56.6992  | 379,589.276 | 8,699,836.251 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 224.988.223 | 379,400.835 | 8,700,420.622 |            | 400.000 | 80.2761  | 379,300.591 | 8,700,545.268 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 225.158.223 | 379,300.591 | 8,700,545.268 |            | 632.456 | 355.1832 | 379,300.591 | 8,700,545.268 |
| 1 | 157 | CIRC. | 220.731   | 225.318.223 | 379,198.341 | 8,700,668.323 | 2,500.000  |         | 357.2203 | 381,154.815 | 8,702,224.668 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000    | 225.538.954 | 379,068.727 | 8,700,846.903 |            | 474.342 | 362.8412 | 379,020.032 | 8,700,922.591 |
| 1 | 158 | RECTA | 739.150   | 225.628.954 | 379,020.032 | 8,700,922.591 |            |         | 363.9871 | -0.5359975  | 0.8442196     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 226.368.105 | 378,623.850 | 8,701,546.596 |            | 357.071 | 363.9871 | 378,623.850 | 8,701,546.596 |
| 1 | 159 | CIRC. | 293.694   | 226.538.105 | 378,527.430 | 8,701,686.490 | -750.000   |         | 356.7721 | 377,943.790 | 8,701,215.466 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 226.831.798 | 378,303.479 | 8,701,873.587 |            | 357.071 | 331.8426 | 378,148.665 | 8,701,943.583 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 227.001.798 | 378,148.665 | 8,701,943.583 |            | 368.782 | 324.6276 | 378,148.665 | 8,701,943.583 |
| 1 | 160 | CIRC. | 273.512   | 227.171.798 | 377,993.674 | 8,702,013.219 | 800.000    |         | 331.3917 | 378,372.361 | 8,702,717.915 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 227.445.311 | 377,779.329 | 8,702,180.966 |            | 357.771 | 353.1571 | 377,680.124 | 8,702,306.408 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 227.605.311 | 377,680.124 | 8,702,306.408 |            | 360.555 | 359.5233 | 377,680.124 | 8,702,306.408 |
| 1 | 161 | CIRC. | 62.684    | 227.735.311 | 377,600.693 | 8,702,409.288 | -1,000.000 |         | 355.3853 | 376,836.371 | 8,701,764.454 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 227.797.994 | 377,558.798 | 8,702,455.901 |            | 360.555 | 351.3947 | 377,464.944 | 8,702,545.818 |
| 1 | 162 | RECTA | 276.257   | 227.927.994 | 377,464.944 | 8,702,545.818 |            |         | 347.2567 | -0.7369119  | 0.6759888     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 228.204.251 | 377,261.367 | 8,702,732.564 |            | 357.071 | 347.2567 | 377,261.367 | 8,702,732.564 |
| 1 | 163 | CIRC. | 848.149   | 228.374.251 | 377,140.590 | 8,702,852.063 | 750.000    |         | 354.4717 | 377,706.832 | 8,703,343.865 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 229.222.400 | 377,020.709 | 8,703,646.743 |            | 357.071 | 26.4648  | 377,100.860 | 8,703,796.553 |
| 1 | 164 | RECTA | 717.964   | 229.392.400 | 377,100.860 | 8,703,796.553 |            |         | 33.6798  | 0.5047057   | 0.8632914     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 230.110.364 | 377,463.221 | 8,704,416.365 |            | 357.771 | 33.6798  | 377,463.221 | 8,704,416.365 |
| 1 | 165 | CIRC. | 555.470   | 230.270.364 | 377,548.494 | 8,704,551.664 | 800.000    |         | 40.0460  | 378,195.367 | 8,704,080.968 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 230,825.834 | 377,999.447 | 8,704,856.606 |            | 357.771 | 84.2489  | 378,156.770 | 8,704,885.356 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 230,985.834 | 378,156.770 | 8,704,885.356 |            | 357.771 | 90.6151  | 378,156.770 | 8,704,885.356 |
| 1 | 166 | CIRC. | 296.010   | 231.145.834 | 378,314.094 | 8,704,914.106 | -800.000   |         | 84.2489  | 378,118.173 | 8,705,689.744 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 231.441.844 | 378,581.326 | 8,705,037.449 |            | 357.771 | 60.6932  | 378,705.269 | 8,705,138.520 |
| 1 | 167 | RECTA | 585.836   | 231.601.844 | 378,705.269 | 8,705,138.520 |            |         | 54.3270  | 0.7534979   | 0.6574503     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000   | 232.187.680 | 379,146.696 | 8,705,523.679 |            | 632.456 | 54.3270  | 379,146.696 | 8,705,523.679 |
| 1 | 168 | CIRC. | 203.994   | 232.347.680 | 379,268.365 | 8,705,627.574 | 2,500.000  |         | 56.3642  | 380,850.880 | 8,703,692.207 |
| 1 |     | CLOT. | 50.000    | 232.551.674 | 379,431.376 | 8,705,750.121 |            | 353.553 | 61.5588  | 379,472.723 | 8,705,778.236 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 232.601.674 | 379,472.723 | 8,705,778.236 |            | 357.071 | 62.1955  | 379,472.723 | 8,705,778.236 |
| 1 | 169 | CIRC. | 411.714   | 232.771.674 | 379,609.848 | 8,705,878.553 | -750.000   |         | 54.9804  | 379,122.587 | 8,706,448.708 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 233.183.389 | 379,835.759 | 8,706,216.575 |            | 357.071 | 20.0330  | 379,876.000 | 8,706,381.644 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 233.353.389 | 379,876.000 | 8,706,381.644 |            | 360.555 | 12.8180  | 379,876.000 | 8,706,381.644 |
| 1 | 170 | CIRC. | 320.485   | 233.483.389 | 379,904.746 | 8,706,508.401 | 1,000.000  |         | 16.9560  | 380,869.486 | 8,706,245.194 |
| 1 |     | CLOT. | 130.000   | 233,803.874 | 380,036.785 | 8,706,798.918 |            | 360.555 | 37.3587  | 380,113.377 | 8,706,903.929 |
| 1 | 171 | RECTA | 429.810   | 233.933.874 | 380,113.377 | 8,706,903.929 |            |         | 41.4968  | 0.6066419   | 0.7949752     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 234.363.683 | 380,374.117 | 8,707,245.617 |            | 357.071 | 41.4968  | 380,374.117 | 8,707,245.617 |
| 1 | 172 | CIRC. | 546.560   | 234.533.683 | 380,472.013 | 8,707,384.482 | -750.000   |         | 34.2817  | 379,828.153 | 8,707,769.116 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 235,080.243 | 380,564.620 | 8,707,910.944 |            | 357.071 | 387.8883 | 380,519.989 | 8,708,074.880 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 235,250.243 | 380,519.989 | 8,708,074.880 |            | 357.071 | 380.6733 | 380,519.989 | 8,708,074.880 |
| 1 | 173 | CIRC. | 323.317   | 235.420.243 | 380,475.357 | 8,708,238.816 | 750.000    |         | 387.8883 | 381,211.824 | 8,708,380.644 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 235,743.560 | 380,483.471 | 8,708,559.533 |            | 357.071 | 15.3323  | 380,536.336 | 8,708,721.002 |
| 1 | 174 | RECTA | 95.754    | 235.913.560 | 380,536.336 | 8,708,721.002 |            |         | 22.5473  | 0.3468146   | 0.9379337     |
| 1 |     | CLOT. | 140.000   | 236,009.314 | 380,569.544 | 8,708,810.813 |            | 354.965 | 22.5473  | 380,569.544 | 8,708,810.813 |
| 1 | 175 | CIRC. | 140.056   | 236.149.314 | 380,621.472 | 8,708,940.786 | 900.000    |         | 27.4988  | 381,438.808 | 8,708,564.007 |
| 1 |     | CLOT. | 140.000   | 236,289.370 | 380,689.746 | 8,709,062.912 |            | 354.965 | 37.4058  | 380,773.266 | 8,709,175.224 |
| 1 | 176 | RECTA | 216.962   | 236,429.370 | 380,773.266 | 8,709,175.224 |            |         | 42.3572  | 0.6173314   | 0.7867032     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 236,645.332 | 380,907.203 | 8,709,345.909 |            | 357.071 | 42.3572  | 380,907.203 | 8,709,345.909 |
| 1 | 177 | CIRC. | 62.087    | 236.816.332 | 381,006.967 | 8,709,483.438 | -750.000   |         | 35.1422  | 380,368.364 | 8,709,876.739 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 236,898.418 | 381,046.107 | 8,709,555.546 |            |         | 28.1745  | 381,107.071 | 8,709,714.134 |
| 1 |     | CLOT. | 140.000   | 237,068.418 | 381,107.071 | 8,709,714.134 |            | 354.965 | 20.9595  | 381,107.071 | 8,709,714.134 |
| 1 | 178 | CIRC. | 297.633   | 237.208.418 | 381,155.741 | 8,709,845.362 | 900.000    |         | 25.9110  | 381,982.219 | 8,709,489.085 |
| 1 |     | CLOT. | 140.000   | 237,506.051 | 381,316.211 | 8,710,094.421 |            | 354.965 | 46.9642  | 381,415.590 | 8,710,192.976 |
| 1 | 179 | RECTA | 156.568   | 237.646.051 | 381,415.590 | 8,710,192.976 |            |         | 51.9156  | 0.7280609   | 0.6855125     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 237,802.619 | 381,529.582 | 8,710,300.306 |            | 357.071 | 51.9156  | 381,529.582 | 8,710,300.306 |
| 1 | 180 | CIRC. | 585.784   | 237.972.619 | 381,657.592 | 8,710,412.022 | 750.000    |         | 59.1307  | 382,106.675 | 8,709,811.335 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 238,558.403 | 382,210.642 | 8,710,554.094 |            | 357.071 | 108.8535 | 382,376.647 | 8,710,517.907 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 238,728.403 | 382,376.647 | 8,710,517.907 |            | 357.071 | 116.0686 | 382,376.647 | 8,710,517.907 |
| 1 | 181 | CIRC. | 891.231   | 238,898.403 | 382,542.651 | 8,710,481.720 | -750.000   |         | 108.8535 | 382,646.619 | 8,711,224.479 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 239,789.634 | 383,296.901 | 8,710,850.804 |            | 357.071 | 33.2035  | 383,370.190 | 8,711,004.087 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000    | 239,959.634 | 383,370.190 | 8,711,004.087 |            | 379.473 | 25.9885  | 383,370.190 | 8,711,004.087 |
| 1 | 182 | CIRC. | 59.754    | 240,049.634 | 383,406.690 | 8,711,086.350 | 1,600.000  |         | 27.7790  | 384,856.770 | 8,710,410.133 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000    | 240,109.388 | 383,432.950 | 8,711,140.021 |            | 379.473 | 30.1566  | 383,475.499 | 8,711,219.324 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 240,199.388 | 383,475.499 | 8,711,219.324 |            | 357.071 | 31.9471  | 383,475.499 | 8,711,219.324 |
| 1 | 183 | CIRC. | 675.754   | 240,369.388 | 383,551.543 | 8,711,371.260 | -750.000   |         | 24.7320  | 382,857.431 | 8,711,655.353 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 241,045.142 | 383,511.067 | 8,712,023.131 |            | 357.071 | 367.3722 | 383,416.811 | 8,712,164.492 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 241,215.142 | 383,416.811 | 8,712,164.492 |            | 357.071 | 360.1572 | 383,416.811 | 8,712,164.492 |
| 1 | 184 | CIRC. | 1,319.066 | 241,385.142 | 383,322.556 | 8,712,305.853 | 750.000    |         | 367.3722 | 383,976.191 | 8,712,673.632 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000   | 242,704.208 | 383,737.024 | 8,713,384.476 |            | 357.071 | 79.3380  | 383,901.687 | 8,713,426.346 |
| 1 | 185 | RECTA | 306.651   | 242.874.208 | 383,901.687 | 8,713,426.346 |            |         | 86.5531  | 0.9777750   | 0.209657      |

|   |     |       |         |             |             |               |            |         |          |             |               |
|---|-----|-------|---------|-------------|-------------|---------------|------------|---------|----------|-------------|---------------|
| 1 | 200 | CIRC. | 252.441 | 254.550.982 | 394,040.448 | 8,717,024.679 | -800.000   |         | 57.3792  | 393,543.981 | 8,717,651.991 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 254,803.423 | 394,210.616 | 8,717,209.725 |            | 357.771 | 37.2906  | 394,289.955 | 8,717,348.587 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 254,963.423 | 394,289.955 | 8,717,348.587 |            | 357.771 | 30.9244  | 394,289.955 | 8,717,348.587 |
| 1 | 201 | CIRC. | 157.314 | 255,123.423 | 394,369.294 | 8,717,487.449 | 800.000    |         | 37.2906  | 395,035.928 | 8,717,045.183 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 255,280.737 | 394,468.550 | 8,717,609.171 |            | 357.771 | 49.8092  | 394,588.603 | 8,717,714.833 |
| 1 | 202 | RECTA | 505.719 | 255,440.737 | 394,588.603 | 8,717,714.833 |            |         | 56.1754  | 0.7722669   | 0.6352982     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 255,946.457 | 394,979.154 | 8,718,036.116 |            | 379.473 | 56.1754  | 394,979.154 | 8,718,036.116 |
| 1 | 203 | CIRC. | 321.628 | 256,106.457 | 395,099.609 | 8,718,141.342 | -900.000   |         | 50.5166  | 394,468.398 | 8,718,782.881 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 256,428.085 | 395,284.145 | 8,718,402.675 |            | 379.473 | 27.7661  | 395,343.008 | 8,718,551.393 |
| 1 | 204 | RECTA | 210.934 | 256,588.085 | 395,343.008 | 8,718,551.393 |            |         | 22.1072  | 0.3403224   | 0.9403088     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 256,799.018 | 395,414.794 | 8,718,749.736 |            | 357.771 | 22.1072  | 395,414.794 | 8,718,749.736 |
| 1 | 205 | CIRC. | 276.240 | 256,959.018 | 395,464.180 | 8,718,901.849 | -800.000   |         | 15.7410  | 394,688.510 | 8,719,097.647 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 257,235.258 | 395,484.669 | 8,719,175.953 |            | 357.771 | 393.7586 | 395,458.446 | 8,719,333.718 |
| 1 | 206 | RECTA | 248.577 | 257,395.258 | 395,458.446 | 8,719,333.718 |            |         | 387.3924 | -0.1967480  | 0.9804541     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 257,643.835 | 395,409.539 | 8,719,577.436 |            | 357.771 | 387.3924 | 395,409.539 | 8,719,577.436 |
| 1 | 207 | CIRC. | 55.154  | 257,803.835 | 395,383.316 | 8,719,735.201 | 800.000    |         | 393.7586 | 396,179.474 | 8,719,813.507 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 257,858.989 | 395,379.813 | 8,719,790.232 |            | 357.771 | 398.1476 | 395,385.820 | 8,719,950.048 |
| 1 | 208 | RECTA | 259.400 | 258,018.989 | 395,385.820 | 8,719,950.048 |            |         | 4.5138   | 0.0708433   | 0.9974875     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 258,278.389 | 395,404.197 | 8,720,208.797 |            | 357.771 | 4.5138   | 395,404.197 | 8,720,208.797 |
| 1 | 209 | CIRC. | 296.532 | 258,438.389 | 395,420.837 | 8,720,367.857 | 800.000    |         | 10.8800  | 396,209.182 | 8,720,231.800 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 258,734.921 | 395,523.661 | 8,720,644.184 |            | 357.771 | 34.4773  | 395,615.048 | 8,720,775.431 |
| 1 | 210 | RECTA | 429.131 | 258,894.921 | 395,615.048 | 8,720,775.431 |            |         | 40.8435  | 0.5984522   | 0.8011585     |
| 1 |     | CLOT. | 170.000 | 259,324.052 | 395,871.862 | 8,721,119.232 |            | 368.782 | 40.8435  | 395,871.862 | 8,721,119.232 |
| 1 | 211 | CIRC. | 152.196 | 259,494.052 | 395,978.304 | 8,721,251.675 | 800.000    |         | 47.6076  | 396,564.844 | 8,720,707.643 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000 | 259,646.248 | 396,091.762 | 8,721,352.774 |            | 368.782 | 59.7189  | 396,235.552 | 8,721,443.303 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000 | 259,816.248 | 396,235.552 | 8,721,443.303 |            | 357.071 | 66.4830  | 396,235.552 | 8,721,443.303 |
| 1 | 212 | CIRC. | 281.657 | 259,986.248 | 396,379.117 | 8,721,534.166 | -750.000   |         | 59.2680  | 395,931.331 | 8,722,135.819 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000 | 260,267.905 | 396,568.584 | 8,721,740.334 |            | 357.071 | 35.3602  | 396,647.023 | 8,721,891.046 |
| 1 | 213 | RECTA | 487.787 | 260,437.905 | 396,647.023 | 8,721,891.046 |            |         | 28.1452  | 0.4278413   | 0.9038539     |
| 1 |     | CLOT. | 150.000 | 260,925.691 | 396,855.718 | 8,722,331.934 |            | 424.264 | 28.1452  | 396,855.718 | 8,722,331.934 |
| 1 | 214 | CIRC. | 115.333 | 261,075.691 | 396,922.693 | 8,722,466.123 | 1,200.000  |         | 32.1240  | 397,973.133 | 8,721,885.971 |
| 1 |     | CLOT. | 110.000 | 261,191.025 | 396,983.214 | 8,722,564.249 |            | 363.318 | 38.2426  | 397,048.127 | 8,722,653.041 |
| 1 | 215 | RECTA | 36.444  | 261,301.025 | 397,048.127 | 8,722,653.041 |            |         | 41.1605  | 0.6024343   | 0.7981685     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 261,337.468 | 397,070.082 | 8,722,682.130 |            | 357.771 | 41.1605  | 397,070.082 | 8,722,682.130 |
| 1 | 216 | CIRC. | 417.812 | 261,497.468 | 397,170.629 | 8,722,806.498 | 800.000    |         | 47.5267  | 397,757.859 | 8,722,263.211 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 261,915.380 | 397,520.022 | 8,723,027.040 |            | 357.771 | 80.7830  | 397,675.548 | 8,723,064.307 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 262,075.380 | 397,675.548 | 8,723,064.307 |            | 357.771 | 87.1492  | 397,675.548 | 8,723,064.307 |
| 1 | 217 | CIRC. | 166.070 | 262,235.380 | 397,831.074 | 8,723,101.575 | -800.000   |         | 80.7830  | 397,593.238 | 8,723,865.404 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 262,401.450 | 397,983.393 | 8,723,166.992 |            | 357.771 | 67.5676  | 398,117.507 | 8,723,254.117 |
| 1 | 218 | RECTA | 277.765 | 262,561.450 | 398,117.507 | 8,723,254.117 |            |         | 61.2014  | 0.8199647   | 0.5724140     |
| 1 |     | CLOT. | 90.000  | 262,839.215 | 398,345.264 | 8,723,413.113 |            | 402.492 | 61.2014  | 398,345.264 | 8,723,413.113 |
| 1 | 219 | CIRC. | 46.158  | 262,929.215 | 398,419.486 | 8,723,464.012 | 1,800.000  |         | 62.7930  | 399,412.615 | 8,721,962.781 |
| 1 |     | CLOT. | 90.000  | 262,975.373 | 398,458.305 | 8,723,488.983 |            | 402.492 | 64.4255  | 398,535.397 | 8,723,535.419 |
| 1 |     | CLOT. | 150.000 | 263,065.373 | 398,535.397 | 8,723,535.419 |            | 357.071 | 66.0170  | 398,535.397 | 8,723,535.419 |
| 1 | 220 | CIRC. | 388.793 | 263,215.373 | 398,662.185 | 8,723,615.477 | -850.000   |         | 60.3998  | 398,166.896 | 8,724,306.265 |
| 1 |     | CLOT. | 150.000 | 263,604.166 | 398,916.336 | 8,723,905.218 |            | 357.071 | 31.2806  | 398,979.190 | 8,724,041.358 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 263,754.166 | 398,979.190 | 8,724,041.358 |            | 357.771 | 25.6633  | 398,979.190 | 8,724,041.358 |
| 1 | 221 | CIRC. | 92.083  | 263,914.166 | 399,046.796 | 8,724,186.294 | 800.000    |         | 32.0295  | 399,747.662 | 8,723,800.566 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 264,006.249 | 399,095.734 | 8,724,264.237 |            | 357.771 | 39.3573  | 399,196.904 | 8,724,388.099 |
| 1 | 222 | RECTA | 68.098  | 264,166.249 | 399,196.904 | 8,724,388.099 |            |         | 45.7235  | 0.6580475   | 0.7529764     |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 264,234.348 | 399,241.716 | 8,724,439.376 |            | 894.427 | 45.7235  | 399,241.716 | 8,724,439.376 |
| 1 | 223 | CIRC. | 383.652 | 264,394.348 | 399,346.358 | 8,724,560.411 | -5,000.000 |         | 44.7049  | 395,529.316 | 8,727,789.991 |
| 1 |     | CLOT. | 160.000 | 264,777.999 | 399,582.691 | 8,724,862.509 |            | 894.427 | 39.8201  | 399,674.980 | 8,724,993.207 |
| 1 | 224 | RECTA | 519.690 | 264,937.999 | 399,674.980 | 8,724,993.207 |            |         | 38.8015  | 0.5724514   | 0.8199387     |
| 1 |     | CLOT. | 190.000 | 265,457.689 | 399,972.477 | 8,725,419.321 |            | 377.492 | 38.8015  | 399,972.477 | 8,725,419.321 |
| 1 | 225 | CIRC. | 157.468 | 265,647.689 | 400,087.639 | 8,725,570.272 | 750.000    |         | 46.8653  | 400,643.429 | 8,725,066.687 |
| 1 |     | CLOT. | 170.000 | 265,805.157 | 400,204.801 | 8,725,675.050 |            | 357.071 | 60.2317  | 400,349.725 | 8,725,763.729 |
| 1 | 226 | RECTA | 231.798 | 265,975.157 | 400,349.725 | 8,725,763.729 |            |         | 67.4467  | 0.8720865   | 0.4893518     |
| 1 |     |       |         | 266,206.955 | 400,551.873 | 8,725,877.160 |            |         | 67.4467  |             |               |

## Anexo P. Listado de Rasantes

| PROYECTO  |          | Nueva Ruta FCCA |            |          |                    |          |                    |          |         |         |
|-----------|----------|-----------------|------------|----------|--------------------|----------|--------------------|----------|---------|---------|
| GRUPO 0   |          | Grupo 0         |            |          |                    |          |                    |          |         |         |
| EJE 1     |          |                 |            |          |                    |          |                    |          |         |         |
|           |          |                 | * * *      |          | ESTADO DE RASANTES |          | * * *              |          |         |         |
| PENDIENTE | LONGITUD | PARAMETRO       | VÉRTICE    |          | ENTRADA AL ACUERDO |          | SALIDA DEL ACUERDO |          | BISECT. | DIF.PEN |
| (o/oo)    | (m.)     | ( kv )          | PK         | Z        | PK                 | Z        | PK                 | Z        | (m.)    | (%)     |
|           |          |                 |            |          | 0                  | 939.848  |                    |          |         |         |
| 10.571962 | 113.056  | 25000           | 9321.938   | 1038.399 | 9265.4             | 1037.802 | 9378.466           | 1038.741 | 0.064   | -0.452  |
| 6.049725  | 41.510   | 7000            | 9999.996   | 1042.501 | 9979.2             | 1042.376 | 10020.751          | 1042.750 | 0.031   | 0.593   |
| 11.979713 | 187.751  | 200000          | 11818.841  | 1064.290 | 11725              | 1063.166 | 11912.717          | 1065.503 | 0.022   | 0.094   |
| 12.918467 | 67.411   | 200000          | 13259.67   | 1082.904 | 13226              | 1082.468 | 13293.375          | 1083.351 | 0.003   | 0.034   |
| 13.25552  | 47.055   | 7500            | 13893.098  | 1091.300 | 13870              | 1090.988 | 13916.626          | 1091.760 | 0.037   | 0.627   |
| 19.52949  | 55.040   | 12000           | 14859.371  | 1110.171 | 14832              | 1109.634 | 14886.891          | 1110.582 | 0.032   | -0.459  |
| 14.942803 | 49.526   | 12000           | 15664.79   | 1122.206 | 15640              | 1121.836 | 15689.552          | 1122.678 | 0.026   | 0.413   |
| 19.06995  | 45.116   | 100000          | 16193.54   | 1132.289 | 16171              | 1131.859 | 16216.097          | 1132.730 | 0.003   | 0.045   |
| 19.521105 | 43.040   | 20000           | 16529.209  | 1138.842 | 16508              | 1138.422 | 16550.729          | 1139.216 | 0.012   | -0.215  |
| 17.369086 | 95.815   | 50000           | 17731.348  | 1159.722 | 17683              | 1158.890 | 17779.256          | 1160.646 | 0.023   | 0.192   |
| 19.285379 | 43.545   | 10000           | 18608.222  | 1176.633 | 18586              | 1176.213 | 18629.995          | 1176.958 | 0.024   | -0.435  |
| 14.930838 | 43.878   | 900000          | 20047.635  | 1198.125 | 20026              | 1197.797 | 20069.574          | 1198.453 | 0.000   | 0.005   |
| 14.979591 | 100.136  | 30000           | 23727.371  | 1253.246 | 23677              | 1252.496 | 23777.439          | 1253.828 | 0.042   | -0.334  |
| 11.641712 | 51.070   | 9000            | 27885.805  | 1301.657 | 27860              | 1301.360 | 27911.340          | 1301.809 | 0.036   | -0.567  |
| 5.967269  | 43.425   | 100000          | 29322.828  | 1310.232 | 29301              | 1310.102 | 29344.541          | 1310.352 | 0.002   | -0.043  |
| 5.533018  | 47.262   | 5000            | 30328.524  | 1315.796 | 30305              | 1315.666 | 30352.155          | 1316.151 | 0.056   | 0.945   |
| 14.985464 | 132.979  | 615000          | 31425.51   | 1332.235 | 31359              | 1331.239 | 31492.000          | 1333.217 | 0.004   | -0.022  |
| 14.769237 | 136.073  | 870000          | 37426.614  | 1420.867 | 37359              | 1419.862 | 37494.650          | 1421.883 | 0.003   | 0.016   |
| 14.925644 | 40.949   | 55000           | 42451.899  | 1495.873 | 42431              | 1495.567 | 42472.373          | 1496.193 | 0.004   | 0.074   |
| 15.670174 | 109.140  | 150000          | 46529.458  | 1559.769 | 46475              | 1558.914 | 46584.028          | 1560.584 | 0.010   | -0.073  |
| 14.942575 | 40.707   | 58000           | 47611.713  | 1575.940 | 47591              | 1575.636 | 47632.066          | 1576.230 | 0.004   | -0.070  |
| 14.240732 | 52.929   | 10000           | 49312.465  | 1600.160 | 49286              | 1599.783 | 49338.929          | 1600.677 | 0.035   | 0.529   |
| 19.533652 | 47.496   | 10000           | 50098.112  | 1615.507 | 50074              | 1615.043 | 50121.861          | 1615.858 | 0.028   | -0.475  |
| 14.784014 | 43.221   | 25000           | 54617.712  | 1682.325 | 54596              | 1682.005 | 54639.323          | 1682.682 | 0.009   | 0.173   |
| 16.512864 | 133.092  | 300000          | 65615.854  | 1863.936 | 65549              | 1862.837 | 65682.400          | 1865.064 | 0.007   | 0.044   |
| 16.956505 | 205.920  | 600000          | 78744.841  | 2086.557 | 78642              | 2084.811 | 78847.801          | 2088.338 | 0.009   | 0.034   |
| 17.299705 | 131.083  | 50000           | 85339.124  | 2200.636 | 85274              | 2199.503 | 85404.665          | 2201.598 | 0.043   | -0.262  |
| 14.67805  | 85.384   | 20000           | 88094.878  | 2241.086 | 88052              | 2240.459 | 88137.570          | 2241.530 | 0.046   | -0.427  |
| 10.40883  | 725.793  | 90000           | 90271.357  | 2263.740 | 89908              | 2259.963 | 90634.253          | 2270.444 | 0.732   | 0.806   |
| 18.473198 | 106.276  | 80000           | 91729.95   | 2290.685 | 91677              | 2289.703 | 91783.088          | 2291.737 | 0.018   | 0.133   |
| 19.801645 | 284.096  | 3500000         | 106151.087 | 2576.247 | 106009             | 2573.434 | 106293.136         | 2579.072 | 0.003   | 0.008   |
| 19.882815 | 164.866  | 350000          | 108210.027 | 2617.185 | 108128             | 2615.546 | 108292.461         | 2618.785 | 0.010   | -0.047  |
| 19.411768 | 187.244  | 40000           | 115813.647 | 2764.784 | 115720             | 2762.967 | 115907.269         | 2766.164 | 0.110   | -0.468  |
| 14.73066  | 49.267   | 10000           | 118370.067 | 2802.442 | 118345             | 2802.079 | 118394.700         | 2802.926 | 0.030   | 0.493   |
| 19.657314 | 42.608   | 160000          | 119245.661 | 2819.654 | 119224             | 2819.235 | 119266.965         | 2820.067 | 0.001   | -0.027  |
| 19.391014 | 108.471  | 193000          | 120665.87  | 2847.193 | 120612             | 2846.142 | 120720.106         | 2848.276 | 0.008   | 0.056   |
| 19.953041 | 205.190  | 1500000         | 126499.823 | 2963.598 | 126397             | 2961.551 | 126602.418         | 2965.631 | 0.004   | -0.014  |
| 19.816247 | 174.366  | 80000           | 129727.049 | 3027.550 | 129640             | 3025.822 | 129814.232         | 3029.088 | 0.048   | -0.218  |
| 17.636674 | 132.127  | 90000           | 130963.542 | 3049.358 | 130897             | 3048.192 | 131029.606         | 3050.620 | 0.024   | 0.147   |
| 19.104748 | 159.178  | 200000          | 132788.153 | 3084.216 | 132709             | 3082.696 | 132867.742         | 3085.800 | 0.016   | 0.080   |
| 19.900639 | 157.823  | 500000          | 138277.785 | 3193.464 | 138199             | 3191.893 | 138356.697         | 3195.009 | 0.006   | -0.032  |
| 19.584993 | 79.982   | 200000          | 139961.35  | 3226.436 | 139921             | 3225.653 | 140001.341         | 3227.235 | 0.004   | 0.040   |
| 19.984903 | 101.999  | 25000000        | 141869.767 | 3264.576 | 141819             | 3263.556 | 141920.767         | 3265.595 | 0.000   | 0.000   |
| 19.980823 | 196.114  | 300000          | 147486.944 | 3376.811 | 147389             | 3374.852 | 147585.001         | 3378.707 | 0.016   | -0.065  |
| 19.32711  | 110.634  | 700000          | 149058.778 | 3407.190 | 149003             | 3406.121 | 149114.095         | 3408.268 | 0.002   | 0.016   |
| 19.485158 | 51.998   | 178000          | 149815.058 | 3421.927 | 149789             | 3421.420 | 149841.057         | 3422.441 | 0.002   | 0.029   |
| 19.777285 | 106.386  | 700000          | 151575.966 | 3456.753 | 151523             | 3455.701 | 151629.159         | 3457.813 | 0.002   | 0.015   |
| 19.929265 | 103.071  | 20000000        | 153080.528 | 3486.737 | 153029             | 3485.710 | 153132.064         | 3487.765 | 0.000   | 0.001   |
| 19.934419 | 116.583  | 4000000         | 155366.071 | 3532.298 | 155308             | 3531.136 | 155424.363         | 3533.462 | 0.000   | 0.003   |
| 19.963565 | 270.279  | 2000000         | 162610.142 | 3676.916 | 162475             | 3674.218 | 162745.281         | 3679.596 | 0.005   | -0.014  |
| 19.828425 | 151.930  | 70000           | 166513.458 | 3754.313 | 166437             | 3752.806 | 166589.423         | 3755.654 | 0.041   | -0.217  |
| 17.658001 | 110.655  | 40000           | 168894.793 | 3796.362 | 168839             | 3795.385 | 168950.120         | 3797.186 | 0.038   | -0.277  |
| 14.891625 | 43.809   | 9000            | 169422.803 | 3804.225 | 169401             | 3803.899 | 169444.708         | 3804.658 | 0.027   | 0.487   |
| 19.759253 | 94.934   | 500000          | 171143.096 | 3838.217 | 171096             | 3837.279 | 171190.563         | 3839.164 | 0.002   | 0.019   |
| 19.949122 | 271.855  | 300000          | 181909.695 | 4053.001 | 181774             | 4050.289 | 182045.622         | 4055.589 | 0.031   | -0.091  |
| 19.04294  | 163.251  | 40000           | 188536.898 | 4179.202 | 188455             | 4177.648 | 188618.524         | 4180.424 | 0.083   | -0.408  |
| 14.961669 | 40.945   | 150000          | 190357.179 | 4206.437 | 190337             | 4206.131 | 190377.652         | 4206.738 | 0.001   | -0.027  |
| 14.688705 | 50.574   | 13500           | 190778.658 | 4212.628 | 190753             | 4212.256 | 190803.945         | 4213.094 | 0.024   | 0.375   |
| 18.434916 | 51.268   | 50000           | 191242.098 | 4221.171 | 191216             | 4220.699 | 191267.732         | 4221.670 | 0.007   | 0.103   |
| 19.460277 | 46.988   | 10000           | 192002.605 | 4235.971 | 191979             | 4235.514 | 192026.099         | 4236.318 | 0.028   | -0.470  |
| 14.761461 | 59.161   | 255000          | 192477.275 | 4242.978 | 192448             | 4242.541 | 192506.855         | 4243.421 | 0.002   | 0.023   |
| 14.993466 | 44.074   | 1530000         | 193384.148 | 4256.575 | 193362             | 4256.245 | 193406.185         | 4256.905 | 0.000   | -0.003  |

|            |         |         |            |          |        |          |            |          |       |        |
|------------|---------|---------|------------|----------|--------|----------|------------|----------|-------|--------|
| 14.964659  | 63.323  | 33000   | 193778.7   | 4262.479 | 193747 | 4262.006 | 193810.362 | 4263.014 | 0.015 | 0.192  |
| 16.883529  | 84.833  | 39500   | 194495.81  | 4274.587 | 194453 | 4273.871 | 194538.226 | 4275.212 | 0.023 | -0.215 |
| 14.735847  | 58.630  | 11500   | 195302.441 | 4286.473 | 195273 | 4286.041 | 195331.756 | 4287.055 | 0.037 | 0.510  |
| 19.834147  | 42.334  | 40000   | 196100.687 | 4302.306 | 196080 | 4301.886 | 196121.854 | 4302.703 | 0.006 | -0.106 |
| 18.775795  | 40.899  | 25000   | 196543.265 | 4310.615 | 196523 | 4310.231 | 196563.715 | 4310.966 | 0.008 | -0.164 |
| 17.139818  | 77.514  | 40000   | 197128.03  | 4320.638 | 197089 | 4319.974 | 197166.787 | 4321.378 | 0.019 | 0.194  |
| 19.077667  | 44.253  | 12000   | 197741.492 | 4332.342 | 197719 | 4331.919 | 197763.618 | 4332.682 | 0.020 | -0.369 |
| 15.389932  | 85.358  | 20000   | 198680.212 | 4346.788 | 198638 | 4346.132 | 198722.891 | 4347.627 | 0.046 | 0.427  |
| 19.657843  | 70.274  | 35000   | 199140.482 | 4355.836 | 199105 | 4355.146 | 199175.619 | 4356.456 | 0.018 | -0.201 |
| 17.65002   | 165.371 | 60000   | 200946.423 | 4387.711 | 200864 | 4386.252 | 201029.108 | 4388.943 | 0.057 | -0.276 |
| 14.893839  | 140.031 | 1500000 | 205230.287 | 4451.514 | 205160 | 4450.472 | 205300.303 | 4452.564 | 0.002 | 0.009  |
| 14.987193  | 147.791 | 5000    | 206788.299 | 4474.865 | 206714 | 4473.757 | 206862.194 | 4473.788 | 0.546 | -2.956 |
| -14.571017 | 47.799  | 10000   | 207400.313 | 4465.947 | 207376 | 4466.295 | 207424.212 | 4465.484 | 0.029 | -0.478 |
| -19.350873 | 44.058  | 250000  | 208037.147 | 4453.624 | 208015 | 4454.05  | 208059.175 | 4453.193 | 0.001 | -0.018 |
| -19.527103 | 40.023  | 250000  | 208477.671 | 4445.021 | 208458 | 4445.412 | 208497.682 | 4444.634 | 0.001 | 0.016  |
| -19.367012 | 44.082  | 43000   | 208831.344 | 4438.172 | 208809 | 4438.599 | 208853.386 | 4437.768 | 0.006 | 0.103  |
| -18.341838 | 45.358  | 30000   | 209369.978 | 4428.292 | 209347 | 4428.708 | 209392.657 | 4427.911 | 0.009 | 0.151  |
| -16.829895 | 87.167  | 40000   | 209784.046 | 4421.324 | 209740 | 4422.057 | 209827.629 | 4420.495 | 0.024 | -0.218 |
| -19.009073 | 40.382  | 4000000 | 210286.552 | 4411.771 | 210266 | 4412.155 | 210306.743 | 4411.388 | 0.000 | 0.000  |
| -19.010083 | 51.805  | 5000    | 210650.552 | 4404.852 | 210625 | 4405.344 | 210676.455 | 4404.628 | 0.067 | 1.036  |
| -8.648991  | 40.185  | 15000   | 210987.278 | 4401.939 | 210967 | 4402.113 | 211007.371 | 4401.819 | 0.013 | 0.268  |
| -5.970005  | 44.307  | 45000   | 211315.004 | 4399.983 | 211293 | 4400.115 | 211337.157 | 4399.829 | 0.005 | -0.098 |
| -6.954597  | 41.477  | 40000   | 212038.532 | 4394.951 | 212018 | 4395.095 | 212059.271 | 4394.828 | 0.005 | 0.104  |
| -5.917662  | 98.893  | 11000   | 212658.704 | 4391.281 | 212609 | 4391.574 | 212708.150 | 4390.544 | 0.111 | -0.899 |
| -14.907979 | 42.886  | 55000   | 213444.939 | 4379.560 | 213423 | 4379.880 | 213466.382 | 4379.257 | 0.004 | 0.078  |
| -14.128229 | 43.298  | 9000    | 214545.554 | 4364.010 | 214524 | 4364.316 | 214567.203 | 4363.808 | 0.026 | 0.481  |
| -9.317297  | 551.155 | 67000   | 215601.17  | 4354.175 | 215326 | 4356.742 | 215876.748 | 4353.874 | 0.567 | 0.823  |
| -1.091098  | 80.220  | 29000   | 215999.922 | 4353.740 | 215960 | 4353.783 | 216040.032 | 4353.585 | 0.028 | -0.277 |
| -3.857306  | 100.563 | 47000   | 216660.11  | 4351.193 | 216610 | 4351.387 | 216710.392 | 4350.892 | 0.027 | -0.214 |
| -5.996952  | 56.858  | 70000   | 225428.616 | 4298.609 | 225400 | 4298.779 | 225457.045 | 4298.461 | 0.006 | 0.081  |
| -5.18469   | 66.117  | 15000   | 226684.475 | 4292.098 | 226651 | 4292.269 | 226717.534 | 4291.780 | 0.036 | -0.441 |
| -9.592505  | 48.073  | 90000   | 227766.608 | 4281.717 | 227743 | 4281.948 | 227790.644 | 4281.499 | 0.003 | 0.053  |
| -9.058366  | 74.867  | 10000   | 228798.275 | 4272.372 | 228761 | 4272.711 | 228835.708 | 4272.313 | 0.070 | 0.749  |
| -1.57168   | 68.853  | 5000    | 230547.279 | 4269.623 | 230513 | 4269.677 | 230581.705 | 4269.095 | 0.119 | -1.377 |
| -15.342184 | 95.350  | 25000   | 231293.786 | 4258.170 | 231246 | 4258.901 | 231341.461 | 4257.257 | 0.045 | -0.381 |
| -19.156174 | 110.623 | 350000  | 232977.101 | 4225.924 | 232922 | 4226.984 | 233032.412 | 4224.882 | 0.004 | 0.032  |
| -18.840109 | 145.790 | 300000  | 234805.849 | 4191.470 | 234733 | 4192.844 | 234878.744 | 4190.062 | 0.009 | -0.049 |
| -19.326075 | 80.172  | 286000  | 235582.032 | 4176.470 | 235542 | 4177.244 | 235622.118 | 4175.684 | 0.003 | -0.028 |
| -19.606396 | 41.399  | 140000  | 236219.344 | 4163.974 | 236199 | 4164.380 | 236240.043 | 4163.562 | 0.002 | -0.030 |
| -19.902105 | 66.206  | 5000000 | 237358.309 | 4141.307 | 237325 | 4141.965 | 237391.412 | 4140.647 | 0.000 | -0.001 |
| -19.915346 | 88.975  | 200000  | 239343.531 | 4101.770 | 239299 | 4102.656 | 239388.019 | 4100.904 | 0.005 | 0.044  |
| -19.470472 | 138.831 | 70000   | 243473.643 | 4021.355 | 243404 | 4022.707 | 243543.058 | 4020.141 | 0.034 | 0.198  |
| -17.487171 | 73.844  | 10000   | 244281.028 | 4007.236 | 244244 | 4007.882 | 244317.950 | 4006.863 | 0.068 | 0.738  |
| -10.102762 | 58.306  | 12000   | 245001.363 | 3999.959 | 244972 | 4000.253 | 245030.516 | 3999.523 | 0.035 | -0.486 |
| -14.961617 | 53.042  | 5000    | 245741.711 | 3988.882 | 245715 | 3989.279 | 245768.232 | 3988.766 | 0.070 | 1.061  |
| -4.353208  | 41.923  | 15000   | 246961.293 | 3983.573 | 246940 | 3983.664 | 246982.255 | 3983.423 | 0.015 | -0.279 |
| -7.148088  | 47.614  | 15000   | 247635.74  | 3978.752 | 247612 | 3978.922 | 247659.547 | 3978.506 | 0.019 | -0.317 |
| -10.322329 | 84.633  | 9000    | 251049.516 | 3943.514 | 251007 | 3943.95  | 251091.833 | 3943.475 | 0.099 | 0.940  |
| -0.918615  | 611.189 | 73500   | 251455.372 | 3943.141 | 251150 | 3943.422 | 251760.966 | 3940.319 | 0.635 | -0.832 |
| -9.234111  | 40.748  | 5500    | 252197.2   | 3936.291 | 252177 | 3936.479 | 252217.574 | 3935.952 | 0.038 | -0.741 |
| -16.642904 | 40.324  | 24000   | 253107.776 | 3921.136 | 253088 | 3921.472 | 253127.938 | 3920.834 | 0.008 | 0.168  |
| -14.962719 | 40.078  | 42000   | 254226.118 | 3904.403 | 254206 | 3904.703 | 254246.157 | 3904.084 | 0.005 | -0.095 |
| -15.916967 | 45.455  | 12000   | 255203.217 | 3888.850 | 255180 | 3889.212 | 255225.945 | 3888.402 | 0.022 | -0.379 |
| -19.704909 | 80.580  | 50000   | 256267.464 | 3867.879 | 256227 | 3868.673 | 256307.755 | 3867.150 | 0.016 | 0.161  |
| -18.093302 | 68.553  | 7000    | 257097.081 | 3852.869 | 257063 | 3853.489 | 257131.357 | 3852.584 | 0.084 | 0.979  |
| -8.299989  | 47.444  | 25000   | 257443.486 | 3849.994 | 257420 | 3850.191 | 257467.209 | 3849.752 | 0.011 | -0.190 |
| -10.197763 | 45.831  | 55000   | 257831.368 | 3846.038 | 257808 | 3846.272 | 257854.283 | 3845.824 | 0.005 | 0.083  |
| -9.364472  | 131.395 | 20500   | 259392.722 | 3831.417 | 259327 | 3832.032 | 259458.419 | 3831.223 | 0.105 | 0.641  |
| -2.954951  | 59.508  | 5000    | 259570.015 | 3830.893 | 259540 | 3830.981 | 259599.769 | 3830.451 | 0.089 | -1.190 |
| -14.856545 | 94.044  | 39000   | 260126.87  | 3822.620 | 260080 | 3823.319 | 260173.892 | 3821.808 | 0.028 | -0.241 |
| -17.267926 | 67.876  | 38000   | 260500.037 | 3816.176 | 260466 | 3816.762 | 260533.975 | 3815.530 | 0.015 | -0.179 |
| -19.054124 | 62.404  | 15000   | 261133.48  | 3804.107 | 261102 | 3804.701 | 261164.681 | 3803.642 | 0.032 | 0.416  |
| -14.893888 | 45.001  | 6500    | 261708.712 | 3795.539 | 261686 | 3795.874 | 261731.213 | 3795.360 | 0.039 | 0.692  |
| -7.970721  | 49.392  | 15500   | 262318.703 | 3790.677 | 262294 | 3790.874 | 262343.399 | 3790.401 | 0.020 | -0.319 |
| -11.157301 | 40.374  | 15000   | 262952.548 | 3783.605 | 262932 | 3783.83  | 262972.735 | 3783.325 | 0.014 | -0.269 |
| -13.848929 | 43.234  | 9000    | 263409.796 | 3777.273 | 263388 | 3777.572 | 263431.413 | 3777.077 | 0.026 | 0.480  |
| -9.045143  | 40.159  | 5000    | 263960.186 | 3772.294 | 263940 | 3772.476 | 263980.266 | 3771.951 | 0.040 | -0.803 |
| -17.076883 | 42.866  | 20000   | 264586.191 | 3761.604 | 264565 | 3761.970 | 264607.624 | 3761.284 | 0.011 | 0.214  |
| -14.933605 | 40.346  | 65000   | 265066.427 | 3754.432 | 265046 | 3754.734 | 265086.600 | 3754.144 | 0.003 | 0.062  |
| -14.312895 | 40.506  | 900000  | 265726.343 | 3744.987 | 265706 | 3745.277 | 265746.596 | 3744.698 | 0.000 | 0.005  |
| -14.267889 | 41.470  | 7000    | 266041.978 | 3740.484 | 266021 | 3740.779 | 266062.713 | 3740.311 | 0.031 | 0.592  |
| -8.343641  |         |         |            |          |        |          | 266206.946 | 3739.107 |       |        |

## Anexo Q. Listado de características geométricas de la vía.

| *** CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TRAZADO DE LA VÍA ***                                                                                     |            |            |           |                   |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|-----------|-------------------|-----------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|-------|------|------------|---------------|-------------|------------|--|--|
| Control de Valores fuera de rango <VRieahrial> R:en círculos A:en clótidotes                                                                  |            |            |           |                   |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
| V:VelocidadR:RadioR:insuf. de h/e:exceso de h/a:a.n.c./h:Var. de h/e:Var. de la insuf./r:Var. de la rampa de h/a:Var. de la a.n.c./L:longitud |            |            |           |                   |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
| (VH y VH Máximas) pueden variar con H de cada curva, y R:en Máximas con Vp.1                                                                  |            |            |           |                   |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
| Torno                                                                                                                                         | VP         | PKS TRAMO  | LONGITUD  | MODOS DISPONIBLES | R. MINIMO | H max  | H max  | H max | anc max | VH     | VH    | Rampa | Vanc | MinLon.CIR | Rec. C/Rec. S | RRRRRAAAAR  |            |  |  |
| 120                                                                                                                                           | 0          |            |           | Normal            | 711.198   | 140    | 100    | 80    | 0.65    | 30     | 30    | 0.8   | 0.2  | 40         | 40.0 40.0     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               | 266206.955 | 266206.955 |           | 1 Excepcional     | 588.578   | 160    | 130    | 100   | 0.85    | 50     | 55    | 2     | 0.36 | 30         | 30.0 30.0     |             |            |  |  |
| ALI                                                                                                                                           | V          | PK         | LONGITUD  | MODO ALINEACION   | RIA       | Hr     | H      | H     | V min   | a.n.c. | VH    | VH    | Ramp | a Vanc     | LONGITUD      | LONG. RECTA | VRieahrial |  |  |
| 1                                                                                                                                             | 120        | 0.000      | 8050.435  | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 505.964   |        |        |       |         |        | 12.96 | 9.26  | 0.39 | 0.06       |               |             |            |  |  |
| 2                                                                                                                                             | 120        | 8210.435   | 2226.119  | CIRCULAR          | 1600.000  | 6.68   | 62.23  | 44.45 | 0       | 0.289  |       |       |      |            | 2226.119      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 505.964   |        |        |       |         |        | 12.96 | 9.26  | 0.39 | 0.06       |               |             |            |  |  |
| 3                                                                                                                                             | 120        | 10436.554  | 322.037   | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.771   |        |        |       |         |        | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12       |               |             | 322.037 S  |  |  |
| 4                                                                                                                                             | 120        | 10618.591  | 160.000   | CIRCULAR          | 800.000   | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78   | 0.579  |       |       |      |            | 1480.701      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.771   |        |        |       |         |        | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.071   |        |        |       |         |        | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 5                                                                                                                                             | 120        | 12599.292  | 170.000   | CIRCULAR          | 750.000   | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78   | 0.617  |       |       |      |            | 739.970       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 714.143   |        |        |       |         |        | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 6                                                                                                                                             | 120        | 12719.262  | 188.222   | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63   | 0.463  |       |       |      |            | 188.222       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 7                                                                                                                                             | 120        | 12899.292  | 739.970   | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63   | 0.463  |       |       |      |            | 69.964        |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 8                                                                                                                                             | 120        | 14007.448  | 504.155   | CIRCULAR          | 800.000   | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78   | 0.579  |       |       |      |            | 504.155       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.771   |        |        |       |         |        | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 438.178   |        |        |       |         |        | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08       |               |             |            |  |  |
| 9                                                                                                                                             | 120        | 15431.603  | 466.555   | CIRCULAR          | 1200.000  | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35   | 0.386  |       |       |      |            | 466.555       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 379.473   |        |        |       |         |        | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 367.423   |        |        |       |         |        | 24.58 | 17.56 | 0.74 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 10                                                                                                                                            | 120        | 16108.157  | 170.873   | CIRCULAR          | 1500.000  | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00    | 0.309  |       |       |      |            | 170.873       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 367.423   |        |        |       |         |        | 24.58 | 17.56 | 0.74 | 0.11       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 11                                                                                                                                            | 120        | 16499.03   | 60.467    | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63   | 0.463  |       |       |      |            | 60.467        |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 12                                                                                                                                            | 120        | 16689.497  | 423.309   | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 423.309 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 473.286   |        |        |       |         |        | 14.82 | 10.58 | 0.44 | 0.07       |               |             |            |  |  |
| 13                                                                                                                                            | 120        | 17112.806  | 917.782   | CIRCULAR          | 1400.000  | 21.92  | 71.12  | 50.80 | 0.00    | 0.331  |       |       |      |            | 917.782       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 374.166   |        |        |       |         |        | 23.71 | 16.93 | 0.71 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 14                                                                                                                                            | 120        | 17290.588  | 70.544 S  | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 70.544 S      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 15                                                                                                                                            | 120        | 18461.132  | 293.277   | CIRCULAR          | 1300.000  | 31.30  | 76.59  | 54.71 | 0.00    | 0.356  |       |       |      |            | 293.277       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 16                                                                                                                                            | 120        | 18754.41   | 100.000   | CIRCULAR          | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 17                                                                                                                                            | 120        | 18854.41   | 359.908   | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 359.908 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 438.178   |        |        |       |         |        | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08       |               |             |            |  |  |
| 17                                                                                                                                            | 120        | 19374.317  | 1346.602  | CIRCULAR          | 1200.000  | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35   | 0.386  |       |       |      |            | 1346.602      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 438.178   |        |        |       |         |        | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08       |               |             |            |  |  |
| 18                                                                                                                                            | 120        | 20720.919  | 160.000   | CIRCULAR          | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 18                                                                                                                                            | 120        | 20880.919  | 859.049 C | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 859.049 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 400.000   |        |        |       |         |        | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10       |               |             |            |  |  |
| 19                                                                                                                                            | 120        | 21899.968  | 3655.049  | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63   | 0.463  |       |       |      |            | 3655.049      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 1907.670  |        |        |       |         |        | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09       |               |             |            |  |  |
| 20                                                                                                                                            | 120        | 25555.016  | 190.000   | CIRCULAR          | 900.000   | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23   | 0.514  |       |       |      |            | 756.884       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 413.521   |        |        |       |         |        | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09       |               |             |            |  |  |
| 21                                                                                                                                            | 120        | 26691.901  | 949.707   | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 949.707 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 379.473   |        |        |       |         |        | 23.13 | 16.39 | 0.69 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 22                                                                                                                                            | 120        | 27641.607  | 171.630   | CIRCULAR          | 900.000   | 89.65  | 111.00 | 78.65 | 48.52   | 0.512  |       |       |      |            | 171.630       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 379.473   |        |        |       |         |        | 23.13 | 16.39 | 0.69 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 23                                                                                                                                            | 120        | 28133.237  | 274.766   | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 274.766 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.071   |        |        |       |         |        | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 24                                                                                                                                            | 120        | 28408.003  | 223.700   | CIRCULAR          | 750.000   | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78   | 0.617  |       |       |      |            | 223.700       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 357.071   |        |        |       |         |        | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 25                                                                                                                                            | 120        | 28578.003  | 170.000   | CIRCULAR          | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 25                                                                                                                                            | 120        | 28801.704  | 130.000   | CIRCULAR          | 1000.000  | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63   | 0.463  |       |       |      |            | 444.210       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 26                                                                                                                                            | 120        | 29101.704  | 444.210   | CIRCULAR          | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 360.555   |        |        |       |         |        | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12       |               |             |            |  |  |
| 26                                                                                                                                            | 120        | 29545.914  | 102.521 C | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 102.521 C     |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 378.153   |        |        |       |         |        | 23.21 | 16.58 | 0.70 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 27                                                                                                                                            | 120        | 29778.435  | 130.000   | CIRCULAR          | 1100.000  | 55.17  | 90.52  | 64.65 | 31.24   | 0.421  |       |       |      |            | 839.878       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 419.524   |        |        |       |         |        | 18.86 | 13.47 | 0.57 | 0.09       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 379.473   |        |        |       |         |        | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11       |               |             |            |  |  |
| 28                                                                                                                                            | 120        | 30088.313  | 160.000   | CIRCULAR          | 900.000   | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23   | 0.514  |       |       |      |            | 714.400       |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 413.521   |        |        |       |         |        | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09       |               |             |            |  |  |
| 28                                                                                                                                            | 120        | 31782.713  | 190.000   | CIRCULAR          | 413.521   |        |        |       |         |        | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 413.521   |        |        |       |         |        | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09       |               |             |            |  |  |
| 29                                                                                                                                            | 120        | 31972.713  | 2181.984  | RECTA             |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            | 2181.984 C    |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 631.664   |        |        |       |         |        | 8.32  | 5.94  | 0.25 | 0.04       |               |             |            |  |  |
| 30                                                                                                                                            | 120        | 34154.697  | 190.000   | CIRCULAR          | 2100.000  | 0.00   | 47.41  | 33.87 | 0.00    | 0.220  |       |       |      |            | 6167.669      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 916.515   |        |        |       |         |        | 13.83 | 9.88  | 0.41 | 0.06       |               |             |            |  |  |
| 31                                                                                                                                            | 120        | 40512.366  | 160.000   | CIRCULAR          | 1500.000  | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00    | 0.309  |       |       |      |            | 3563.526      |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 498.998   |        |        |       |         |        | 13.83 | 9.88  | 0.41 | 0.06       |               |             |            |  |  |
| 32                                                                                                                                            | 120        | 40672.366  | 3563.526  | CIRCULAR          | 498.998   |        |        |       |         |        | 13.83 | 9.88  | 0.41 | 0.06       |               |             |            |  |  |
|                                                                                                                                               |            |            |           |                   | 498.998   |        |        |       |         |        | 13.83 | 9.88  | 0.41 | 0.06       |               |             |            |  |  |
| 32                                                                                                                                            | 120        | 44235.891  |           |                   |           |        |        |       |         |        |       |       |      |            |               |             |            |  |  |

|    |     |            |          |  |          |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |            |  |   |
|----|-----|------------|----------|--|----------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------------|--|---|
| 59 | 120 | 110324.538 | 3694.336 |  | CIRCULAR | 1100.000 | 55.17  | 90.52  | 64.65 | 31.24 | 0.421 |       |       |      |      | 3694.336   |  |   |
|    |     | 114018.874 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 1583.667 |        |        |       |       |       | 15.88 | 11.34 | 0.48 | 0.07 |            |  |   |
| 60 | 120 | 114208.874 | 3209.826 |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 3209.826   |  |   |
|    |     | 117418.7   | 170.000  |  | CLOTOIDE | 451.664  |        |        |       |       |       | 16.27 | 11.62 | 0.49 | 0.08 |            |  |   |
| 61 | 120 | 117588.7   | 500.324  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 500.324 S  |  |   |
|    |     | 118089.024 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |            |  |   |
| 62 | 120 | 118259.024 | 221.612  |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 221.612    |  |   |
|    |     | 118480.636 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 118600.636 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
| 63 | 120 | 118800.636 | 136.068  |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 136.068    |  |   |
|    |     | 118936.704 | 110.000  |  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 119046.704 | 90.000   |  | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12 |            |  |   |
| 64 | 120 | 119136.704 | 214.092  |  | CIRCULAR | 1400.000 | 21.92  | 71.12  | 50.80 | 0.00  | 0.331 |       |       |      |      | 214.092    |  |   |
|    |     | 119354.796 | 90.000   |  | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 119444.796 | 110.000  |  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12 |            |  |   |
| 65 | 120 | 119554.796 | 333.668  |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 333.668    |  |   |
|    |     | 119888.464 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
|    |     | 120048.464 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 632.456  |        |        |       |       |       | 8.30  | 5.93  | 0.25 | 0.04 |            |  |   |
| 66 | 120 | 120208.464 | 915.378  |  | CIRCULAR | 2500.000 | 0.00   | 39.83  | 28.45 | 0.00  | 0.185 |       |       |      |      | 915.378    |  |   |
|    |     | 121123.842 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 689.202  |        |        |       |       |       | 6.99  | 4.99  | 0.21 | 0.03 |            |  |   |
| 67 | 120 | 121313.842 | 1502.935 |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 1502.935 C |  |   |
|    |     | 122816.778 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 477.493  |        |        |       |       |       | 14.56 | 10.40 | 0.44 | 0.07 |            |  |   |
| 68 | 120 | 123006.778 | 2384.427 |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 2384.427   |  |   |
|    |     | 125391.204 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 675.278  |        |        |       |       |       | 21.84 | 15.60 | 0.66 | 0.10 |            |  |   |
| 69 | 120 | 125581.204 | 1837.516 |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 1837.516   |  |   |
|    |     | 127418.72  | 190.000  |  | CLOTOIDE | 389.872  |        |        |       |       |       | 21.84 | 15.60 | 0.66 | 0.10 |            |  |   |
| 70 | 120 | 127608.72  | 1666.487 |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 1666.487 C |  |   |
|    |     | 129275.207 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 651.920  |        |        |       |       |       | 7.81  | 5.58  | 0.23 | 0.04 |            |  |   |
| 71 | 120 | 129445.207 | 564.345  |  | CIRCULAR | 2500.000 | 0.00   | 39.83  | 28.45 | 0.00  | 0.185 |       |       |      |      | 564.345    |  |   |
|    |     | 130009.552 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 651.920  |        |        |       |       |       | 7.81  | 5.58  | 0.23 | 0.04 |            |  |   |
|    |     | 130179.552 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 412.311  |        |        |       |       |       | 19.52 | 13.95 | 0.59 | 0.09 |            |  |   |
| 72 | 120 | 130349.552 | 1228.293 |  | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      |      | 1228.293   |  |   |
|    |     | 131577.845 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
|    |     | 131767.845 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
| 73 | 120 | 131957.845 | 1661.261 |  | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      |      | 1661.261   |  |   |
|    |     | 133389.106 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 1067.708 |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
| 74 | 120 | 133809.106 | 3241.174 |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 3241.174   |  |   |
|    |     | 137050.28  | 160.000  |  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
| 75 | 120 | 137210.28  | 962.749  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 962.749 S  |  |   |
|    |     | 138173.028 | 90.000   |  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |            |  |   |
| 76 | 120 | 138263.028 | 29.694   |  | CIRCULAR | 1600.000 | 6.68   | 62.23  | 44.45 | 0.00  | 0.289 |       |       |      |      | 29.694     |  | L |
|    |     | 138292.722 | 100.000  |  | CLOTOIDE | 400.000  |        |        |       |       |       | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10 |            |  |   |
|    |     | 138392.722 | 100.000  |  | CLOTOIDE | 387.298  |        |        |       |       |       | 22.13 | 15.80 | 0.66 | 0.10 |            |  |   |
| 77 | 120 | 138492.722 | 31.921   |  | CIRCULAR | 1500.000 | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00  | 0.309 |       |       |      |      | 31.921     |  |   |
|    |     | 138524.644 | 90.000   |  | CLOTOIDE | 367.423  |        |        |       |       |       | 24.58 | 17.56 | 0.74 | 0.11 |            |  |   |
|    |     | 138614.644 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 78 | 120 | 138784.644 | 2335.839 |  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      | 2335.839   |  |   |
|    |     | 141120.482 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 141290.482 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 632.456  |        |        |       |       |       | 8.30  | 5.93  | 0.25 | 0.04 |            |  |   |
| 79 | 120 | 141450.482 | 837.992  |  | CIRCULAR | 2500.000 | 0.00   | 39.83  | 28.45 | 0.00  | 0.185 |       |       |      |      | 837.992    |  |   |
|    |     | 142288.475 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 689.202  |        |        |       |       |       | 6.99  | 4.99  | 0.21 | 0.03 |            |  |   |
| 80 | 120 | 142478.475 | 1661.663 |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 1661.663 S |  |   |
|    |     | 144140.138 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 413.521  |        |        |       |       |       | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09 |            |  |   |
| 81 | 120 | 144330.138 | 1180.947 |  | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      |      | 1180.947   |  |   |
|    |     | 145111.085 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 413.521  |        |        |       |       |       | 19.41 | 13.86 | 0.58 | 0.09 |            |  |   |
| 82 | 120 | 145701.085 | 658.316  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 658.316 C  |  |   |
|    |     | 146359.401 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 389.872  |        |        |       |       |       | 21.84 | 15.60 | 0.66 | 0.10 |            |  |   |
| 83 | 120 | 146549.401 | 1874.960 |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 1874.960   |  |   |
|    |     | 146824.362 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 389.872  |        |        |       |       |       | 21.84 | 15.60 | 0.66 | 0.10 |            |  |   |
|    |     | 148614.362 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08 |            |  |   |
| 84 | 120 | 148804.362 | 509.031  |  | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      |      | 509.031    |  |   |
|    |     | 149313.393 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 400.000  |        |        |       |       |       | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10 |            |  |   |
| 85 | 120 | 149473.393 | 157.365  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 157.365 S  |  |   |
|    |     | 149630.758 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 86 | 120 | 149800.758 | 28.658   |  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      | 28.658     |  | L |
|    |     | 149829.416 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 149999.416 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 87 | 120 | 150169.416 | 137.862  |  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      | 137.862    |  |   |
|    |     | 150307.278 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 150477.278 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 88 | 120 | 150647.278 | 1857.561 |  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      | 1857.561   |  |   |
|    |     | 152504.839 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 89 | 120 | 152674.839 | 192.565  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 192.565 C  |  |   |
|    |     | 152867.404 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 90 | 120 | 153027.404 | 106.336  |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 106.336    |  |   |
|    |     | 153133.74  | 160.000  |  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 153293.74  | 110.000  |  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12 |            |  |   |
| 91 | 120 | 153403.74  | 54.648   |  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      | 54.648     |  |   |
|    |     | 153458.388 | 110.000  |  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 153568.388 | 160.000  |  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 92 | 120 | 153728.388 | 97.772   |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 97.772     |  |   |
|    |     | 153826.16  | 160.000  |  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
|    |     | 153986.16  | 170.000  |  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |            |  |   |
| 93 | 120 | 154156.16  | 145.488  |  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      | 145.488    |  |   |
|    |     | 154301.648 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 377.492  |        |        |       |       |       | 23.29 | 16.64 | 0.70 | 0.11 |            |  |   |
| 94 | 120 | 154491.648 | 274.333  |  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      | 274.333 S  |  |   |
|    |     | 154765.981 | 170.000  |  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |            |  |   |
| 95 | 120 | 154935.981 | 860.405  |  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      | 860.405    |  |   |
|    |     | 155796.386 | 190.000  |  | CLOTOIDE | 389.872  |        | </     |       |       |       |       |       |      |      |            |  |   |

|     |     |            |          |          |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          |            |   |
|-----|-----|------------|----------|----------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------|------------|---|
|     |     | 193637.491 | 100.000  | CLOTOIDE | 387.298  |        |        |       |       | 22.13 | 15.80 | 0.66  | 0.10 |          |            |   |
| 119 | 120 | 193737.491 | 82.556   | CIRCULAR | 1500.000 | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00  | 0.309 |       |       |      | 82.556   |            |   |
|     |     | 193820.048 | 100.000  | CLOTOIDE | 387.298  |        |        |       |       |       | 22.13 | 15.80 | 0.66 | 0.10     |            |   |
| 120 | 120 | 193920.048 | 260.955  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 260.955 C  |   |
|     |     | 194181.003 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11     |            |   |
| 121 | 120 | 194341.003 | 309.625  | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      | 309.625  |            |   |
|     |     | 194650.628 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11     |            |   |
| 122 | 120 | 194810.628 | 305.991  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 305.991 S  |   |
|     |     | 195116.619 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 123 | 120 | 195276.619 | 51.594   | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      | 51.594   |            |   |
|     |     | 195328.213 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 124 | 120 | 195488.213 | 232.634  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 232.634 S  |   |
|     |     | 195720.847 | 160.000  | CLOTOIDE | 473.296  |        |        |       |       |       | 14.82 | 10.58 | 0.44 | 0.07     |            |   |
| 125 | 120 | 195880.847 | 440.007  | CIRCULAR | 1400.000 | 21.92  | 71.12  | 50.80 | 0.00  | 0.331 |       |       |      | 440.007  |            |   |
|     |     | 196320.854 | 90.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
|     |     | 196410.854 | 120.000  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12     |            |   |
| 126 | 120 | 196530.854 | 24.955   | CIRCULAR | 1100.000 | 55.17  | 90.52  | 64.65 | 31.24 | 0.421 |       |       |      | 24.955   |            | L |
|     |     | 196555.809 | 120.000  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12     |            |   |
| 127 | 120 | 196675.809 | 314.123  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 314.123 C  |   |
|     |     | 196989.932 | 110.000  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12     |            |   |
| 128 | 120 | 197099.932 | 56.235   | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      | 56.235   |            |   |
|     |     | 197156.167 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 129 | 120 | 197316.167 | 119.690  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 119.690 C  |   |
|     |     | 197435.856 | 90.000   | CLOTOIDE | 367.423  |        |        |       |       |       | 24.58 | 17.56 | 0.74 | 0.11     |            |   |
| 130 | 120 | 197525.856 | 431.169  | CIRCULAR | 1500.000 | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00  | 0.309 |       |       |      | 431.169  |            |   |
|     |     | 197957.026 | 160.000  | CLOTOIDE | 489.898  |        |        |       |       |       | 13.83 | 9.88  | 0.41 | 0.06     |            |   |
| 131 | 120 | 198117.026 | 223.796  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 223.796 C  |   |
|     |     | 198340.821 | 160.000  | CLOTOIDE | 579.655  |        |        |       |       |       | 9.88  | 7.06  | 0.30 | 0.05     |            |   |
| 132 | 120 | 198500.821 | 358.863  | CIRCULAR | 2100.000 | 0.00   | 47.41  | 33.87 | 0.00  | 0.220 |       |       |      | 358.863  |            |   |
|     |     | 198859.685 | 60.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
|     |     | 198819.685 | 70.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
| 133 | 120 | 198989.685 | 301.823  | CIRCULAR | 1800.000 | 0.00   | 55.32  | 39.51 | 0.00  | 0.257 |       |       |      | 301.823  |            |   |
|     |     | 199291.507 | 70.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
| 134 | 120 | 199361.507 | 727.759  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 727.759 S  |   |
|     |     | 200089.267 | 190.000  | CLOTOIDE | 729.383  |        |        |       |       |       | 6.24  | 4.46  | 0.19 | 0.03     |            |   |
| 135 | 120 | 200270.267 | 1334.016 | CIRCULAR | 2800.000 | 0.00   | 35.56  | 25.40 | 0.00  | 0.165 |       |       |      | 1334.016 |            |   |
|     |     | 201613.282 | 50.000   | CLOTOIDE | 374.166  |        |        |       |       |       | 23.71 | 16.93 | 0.71 | 0.11     |            |   |
|     |     | 201663.282 | 110.000  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12     |            |   |
| 136 | 120 | 201773.282 | 112.620  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      | 112.620  |            |   |
|     |     | 201885.902 | 190.000  | CLOTOIDE | 477.493  |        |        |       |       |       | 14.56 | 10.40 | 0.44 | 0.07     |            |   |
| 137 | 120 | 201975.902 | 2301.133 | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 2301.133 C |   |
|     |     | 204377.035 | 190.000  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 138 | 120 | 204567.035 | 1327.087 | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      | 1327.087 |            |   |
|     |     | 205894.122 | 160.000  | CLOTOIDE | 400.000  |        |        |       |       |       | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10     |            |   |
|     |     | 206154.122 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
| 139 | 120 | 206154.122 | 360.037  | CIRCULAR | 2000.000 | 0.00   | 49.78  | 35.56 | 0.00  | 0.231 |       |       |      | 360.037  |            |   |
|     |     | 206504.159 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
|     |     | 206604.159 | 100.000  | CLOTOIDE | 387.298  |        |        |       |       |       | 22.13 | 15.80 | 0.66 | 0.10     |            |   |
| 140 | 120 | 206704.159 | 168.477  | CIRCULAR | 1500.000 | 13.79  | 66.38  | 47.41 | 0.00  | 0.309 |       |       |      | 168.477  |            |   |
|     |     | 206872.637 | 100.000  | CLOTOIDE | 387.298  |        |        |       |       |       | 22.13 | 15.80 | 0.66 | 0.10     |            |   |
|     |     | 206972.637 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
| 141 | 120 | 207072.637 | 655.476  | CIRCULAR | 2000.000 | 0.00   | 49.78  | 35.56 | 0.00  | 0.231 |       |       |      | 655.476  |            |   |
|     |     | 207728.113 | 70.000   | CLOTOIDE | 374.166  |        |        |       |       |       | 23.71 | 16.93 | 0.71 | 0.11     |            |   |
|     |     | 207798.113 | 70.000   | CLOTOIDE | 374.166  |        |        |       |       |       | 23.71 | 16.93 | 0.71 | 0.11     |            |   |
| 142 | 120 | 207869.113 | 338.134  | CIRCULAR | 2000.000 | 0.00   | 49.78  | 35.56 | 0.00  | 0.231 |       |       |      | 338.134  |            |   |
|     |     | 208206.247 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
| 143 | 120 | 208306.247 | 274.122  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 274.122 S  |   |
|     |     | 208580.368 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
| 144 | 120 | 208680.368 | 302.184  | CIRCULAR | 2000.000 | 0.00   | 49.78  | 35.56 | 0.00  | 0.231 |       |       |      | 302.184  |            |   |
|     |     | 209882.553 | 100.000  | CLOTOIDE | 447.214  |        |        |       |       |       | 16.59 | 11.85 | 0.50 | 0.08     |            |   |
|     |     | 209882.553 | 100.000  | CLOTOIDE | 500.000  |        |        |       |       |       | 13.28 | 9.48  | 0.40 | 0.06     |            |   |
| 145 | 120 | 209182.553 | 1203.115 | CIRCULAR | 2500.000 | 0.00   | 39.83  | 28.45 | 0.00  | 0.185 |       |       |      | 1203.115 |            |   |
|     |     | 210385.668 | 160.000  | CLOTOIDE | 632.456  |        |        |       |       |       | 8.30  | 5.93  | 0.25 | 0.04     |            |   |
| 146 | 120 | 210545.668 | 487.523  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 487.523 S  |   |
|     |     | 211033.191 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 147 | 120 | 211193.191 | 243.543  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      | 243.543  |            |   |
|     |     | 211436.734 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08     |            |   |
|     |     | 211596.734 | 100.000  | CLOTOIDE | 424.264  |        |        |       |       |       | 18.44 | 13.17 | 0.55 | 0.09     |            |   |
| 148 | 120 | 211696.734 | 883.603  | CIRCULAR | 1800.000 | 0.00   | 55.32  | 39.51 | 0.00  | 0.257 |       |       |      | 883.603  |            |   |
|     |     | 212380.336 | 160.000  | CLOTOIDE | 536.656  |        |        |       |       |       | 11.52 | 8.23  | 0.35 | 0.05     |            |   |
| 149 | 120 | 212540.336 | 644.970  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 644.970 S  |   |
|     |     | 213185.306 | 160.000  | CLOTOIDE | 400.000  |        |        |       |       |       | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10     |            |   |
| 150 | 120 | 213345.306 | 199.765  | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      | 199.765  |            |   |
|     |     | 213545.071 | 130.000  | CLOTOIDE | 360.555  |        |        |       |       |       | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12     |            |   |
| 151 | 120 | 213675.071 | 109.165  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 109.165 C  |   |
|     |     | 213784.236 | 130.000  | CLOTOIDE | 360.555  |        |        |       |       |       | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12     |            |   |
| 152 | 120 | 213914.236 | 1282.344 | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      | 1282.344 |            |   |
|     |     | 215176.58  | 190.000  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08     |            |   |
|     |     | 215366.58  | 90.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
| 153 | 120 | 215456.58  | 289.332  | CIRCULAR | 1400.000 | 21.92  | 71.12  | 50.80 | 0.00  | 0.331 |       |       |      | 289.332  |            |   |
|     |     | 215745.913 | 90.000   | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12     |            |   |
|     |     | 215835.913 | 130.000  | CLOTOIDE | 360.555  |        |        |       |       |       | 25.53 | 18.24 | 0.77 | 0.12     |            |   |
| 154 | 120 | 215965.913 | 68.009   | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      | 68.009   |            |   |
|     |     | 216033.921 | 190.000  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 155 | 120 | 216223.921 | 7069.692 | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 7069.692 S |   |
|     |     | 223293.613 | 190.000  | CLOTOIDE | 435.890  |        |        |       |       |       | 17.47 | 12.48 | 0.52 | 0.08     |            |   |
| 156 | 120 | 223493.613 | 1514.610 | CIRCULAR | 1000.000 | 70.69  | 99.57  | 71.12 | 40.63 | 0.463 |       |       |      | 1514.610 |            |   |
|     |     | 224998.223 | 160.000  | CLOTOIDE | 400.000  |        |        |       |       |       | 20.74 | 14.82 | 0.62 | 0.10     |            |   |
|     |     | 225158.223 | 160.000  | CLOTOIDE | 632.456  |        |        |       |       |       | 8.30  | 5.93  | 0.25 | 0.04     |            |   |
| 157 | 120 | 225318.223 | 220.731  | CIRCULAR | 2500.000 | 0.00   | 39.83  | 28.45 | 0.00  | 0.185 |       |       |      | 220.731  |            |   |
|     |     | 225538.954 | 90.000   | CLOTOIDE | 474.342  |        |        |       |       |       | 14.75 | 10.54 | 0.44 | 0.07     |            |   |
| 158 | 120 | 225638.954 | 739.150  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |          | 739.150 S  |   |
|     |     | 226368.105 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12     |            |   |
| 159 | 120 | 226538.105 | 293.694  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      | 293.694  |            |   |
|     |     | 226831.798 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12     |            |   |

|     |     |            |          |          |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         |            |  |
|-----|-----|------------|----------|----------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------|------------|--|
| 178 | 120 | 237208.418 | 297.633  | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      |      | 297.633 |            |  |
|     |     | 237506.051 | 140.000  | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12 |         |            |  |
| 179 | 120 | 237646.051 | 156.568  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 156.568 C  |  |
|     |     | 237802.619 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 180 | 120 | 237972.619 | 585.784  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 585.784    |  |
|     |     | 238558.403 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 238728.403 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 181 | 120 | 238986.403 | 891.231  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 891.231    |  |
|     |     | 239789.634 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 239959.634 | 90.000   | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
| 182 | 120 | 240049.634 | 59.754   | CIRCULAR | 1600.000 | 6.68   | 62.23  | 44.45 | 0.00  | 0.289 |       |       |      |      |         | 59.754     |  |
|     |     | 240109.388 | 90.000   | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
|     |     | 240199.388 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 183 | 120 | 240589.388 | 675.754  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 675.754    |  |
|     |     | 241045.142 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 241215.142 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 184 | 120 | 241385.142 | 1319.066 | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 1319.066   |  |
|     |     | 242704.208 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 185 | 120 | 242874.208 | 306.651  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 306.651 S  |  |
|     |     | 243180.859 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
| 186 | 120 | 243340.859 | 268.713  | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      |      |         | 268.713    |  |
|     |     | 243609.572 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
| 187 | 120 | 243769.572 | 322.631  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 322.631 S  |  |
|     |     | 244092.203 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 188 | 120 | 244262.203 | 37.627   | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 37.627     |  |
|     |     | 244299.831 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 189 | 120 | 244669.831 | 2284.882 | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 2284.882 C |  |
|     |     | 246754.713 | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08 |         |            |  |
| 190 | 120 | 246914.713 | 93.217   | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      |         | 93.217     |  |
|     |     | 247007.93  | 160.000  | CLOTOIDE | 438.178  |        |        |       |       |       | 17.29 | 12.35 | 0.52 | 0.08 |         |            |  |
| 191 | 120 | 247167.93  | 254.362  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 254.362 C  |  |
|     |     | 247422.292 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
| 192 | 120 | 247592.292 | 86.903   | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 86.903     |  |
|     |     | 247679.195 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
| 193 | 120 | 247849.195 | 3001.679 | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 3001.679 S |  |
|     |     | 250850.874 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
| 194 | 120 | 251020.874 | 54.080   | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 54.080     |  |
|     |     | 251074.955 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
| 195 | 120 | 251244.955 | 384.195  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 384.195 C  |  |
|     |     | 251629.149 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 196 | 120 | 251889.149 | 801.250  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 801.250    |  |
|     |     | 252600.4   | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 252770.4   | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 197 | 120 | 252940.4   | 333.313  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 333.313    |  |
|     |     | 253273.713 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 198 | 120 | 253403.713 | 615.460  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 615.460 C  |  |
|     |     | 254059.172 | 140.000  | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12 |         |            |  |
| 199 | 120 | 254199.172 | 51.810   | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      |      |         | 51.810     |  |
|     |     | 254250.982 | 140.000  | CLOTOIDE | 354.965  |        |        |       |       |       | 26.34 | 18.81 | 0.79 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 254390.982 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 200 | 120 | 254550.982 | 252.441  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 252.441    |  |
|     |     | 254803.423 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 254963.423 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 201 | 120 | 255123.423 | 157.314  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 157.314    |  |
|     |     | 255280.737 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 202 | 120 | 255440.737 | 505.719  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 505.719 S  |  |
|     |     | 255946.457 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
| 203 | 120 | 256106.457 | 321.628  | CIRCULAR | 900.000  | 89.65  | 110.63 | 79.02 | 48.23 | 0.514 |       |       |      |      |         | 321.628    |  |
|     |     | 256428.085 | 160.000  | CLOTOIDE | 379.473  |        |        |       |       |       | 23.05 | 16.46 | 0.69 | 0.11 |         |            |  |
| 204 | 120 | 256589.085 | 210.934  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 210.934 C  |  |
|     |     | 256799.018 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 205 | 120 | 256959.018 | 276.240  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 276.240    |  |
|     |     | 257235.258 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 206 | 120 | 257395.258 | 248.577  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 248.577 S  |  |
|     |     | 257643.835 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 207 | 120 | 257803.835 | 55.154   | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 55.154     |  |
|     |     | 257858.989 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 208 | 120 | 258018.989 | 259.400  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 259.400 C  |  |
|     |     | 258278.389 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 209 | 120 | 258438.389 | 296.532  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 296.532    |  |
|     |     | 258734.921 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 210 | 120 | 258894.921 | 429.131  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 429.131 C  |  |
|     |     | 259324.052 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
| 211 | 120 | 259494.052 | 152.196  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 152.196    |  |
|     |     | 259646.248 | 170.000  | CLOTOIDE | 368.782  |        |        |       |       |       | 24.40 | 17.43 | 0.73 | 0.11 |         |            |  |
|     |     | 259816.248 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 212 | 120 | 259986.248 | 281.657  | CIRCULAR | 750.000  | 127.58 | 132.76 | 94.83 | 57.78 | 0.617 |       |       |      |      |         | 281.657    |  |
|     |     | 260267.905 | 170.000  | CLOTOIDE | 357.071  |        |        |       |       |       | 26.03 | 18.59 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 213 | 120 | 260437.905 | 487.787  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 487.787 S  |  |
|     |     | 260925.691 | 150.000  | CLOTOIDE | 424.264  |        |        |       |       |       | 18.44 | 13.17 | 0.55 | 0.09 |         |            |  |
| 214 | 120 | 261075.691 | 115.333  | CIRCULAR | 1200.000 | 42.24  | 82.97  | 59.27 | 17.35 | 0.386 |       |       |      |      |         | 115.333    |  |
|     |     | 261191.025 | 110.000  | CLOTOIDE | 363.318  |        |        |       |       |       | 25.14 | 17.96 | 0.75 | 0.12 |         |            |  |
| 215 | 120 | 261301.025 | 36.444   | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 36.444 C   |  |
|     |     | 261337.468 | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 216 | 120 | 261497.468 | 417.912  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 417.912    |  |
|     |     | 261915.38  | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
|     |     | 262075.38  | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 217 | 120 | 262235.38  | 166.070  | CIRCULAR | 800.000  | 113.36 | 124.46 | 88.90 | 54.78 | 0.579 |       |       |      |      |         | 166.070    |  |
|     |     | 262401.45  | 160.000  | CLOTOIDE | 357.771  |        |        |       |       |       | 25.93 | 18.52 | 0.78 | 0.12 |         |            |  |
| 218 | 120 | 262561.45  | 277.765  | RECTA    |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         | 277.765 S  |  |
|     |     | 262839.215 | 90.000   | CLOTOIDE | 402.492  |        |        |       |       |       | 20.49 | 14.63 | 0.61 | 0.10 |         |            |  |
| 219 | 120 | 262929.215 | 46.158   | CIRCULAR | 1800.000 | 0.00   | 55.32  | 39.51 | 0.00  | 0.257 |       |       |      |      |         | 46.158     |  |
|     |     | 262975.    |          |          |          |        |        |       |       |       |       |       |      |      |         |            |  |

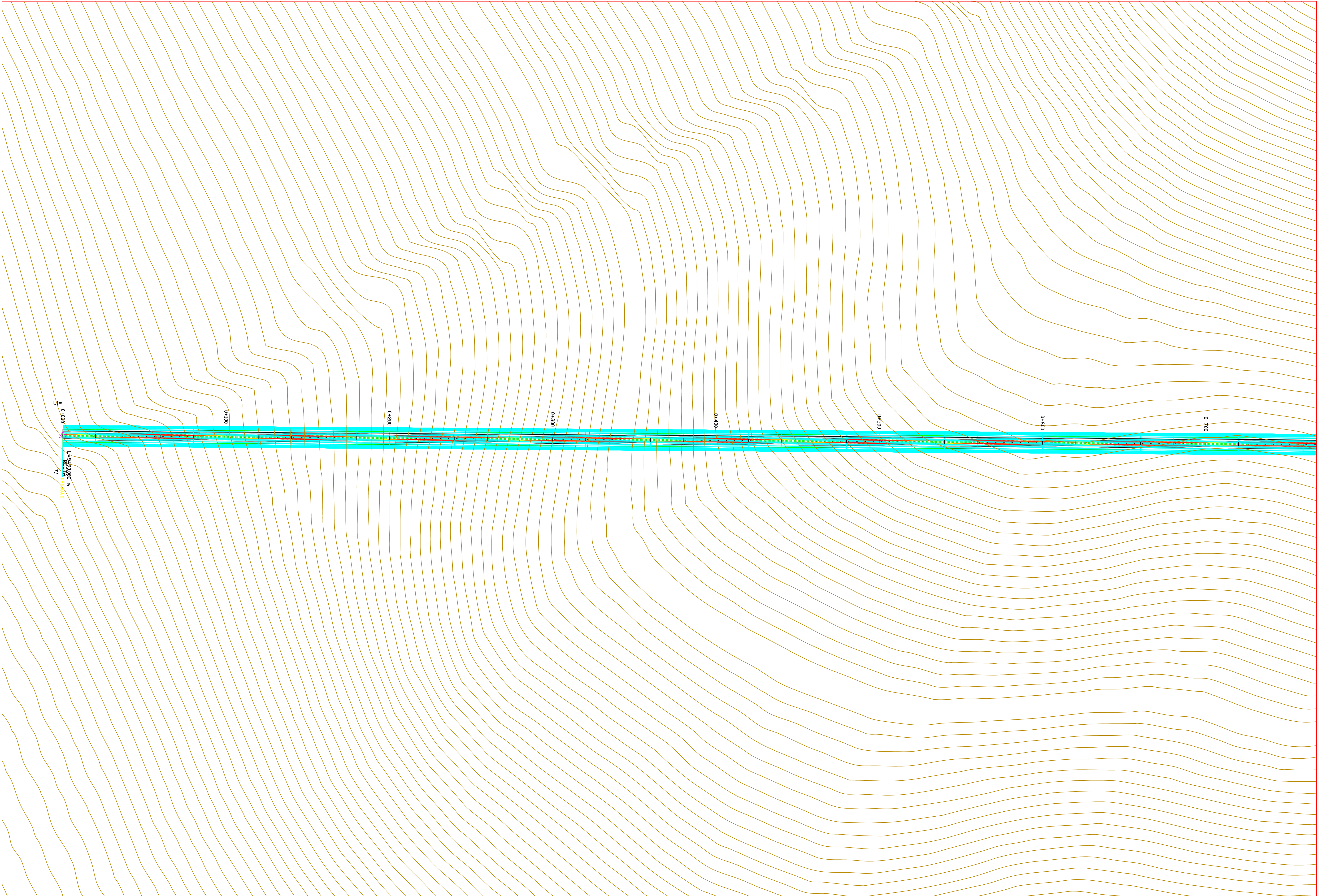
## **Anexo R. Planos.**

Se han generado planos correspondientes al trazo conceptual del Ferrocarril Central Andino.

Entre los planos generados se encuentran:

- Un plano de localización del proyecto.
- Planos de altimetría, de los primeros 35 km donde se puede diferenciar diferentes tramos del perfil longitudinal.
- Planos de planimetría de dos tramos del trazo conceptual. Vista en planta de las rectas y curvas.
- Un plano donde se encuentran las secciones transversales típicas.





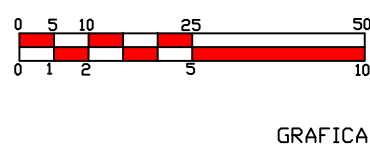
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA

FACULTAD  
DE INGENIERÍA CIVIL

ISPOL



ESCALAS  
HORIZONTAL 1 : 1000  
VERTICAL 1 : 200  
ORIGINAL



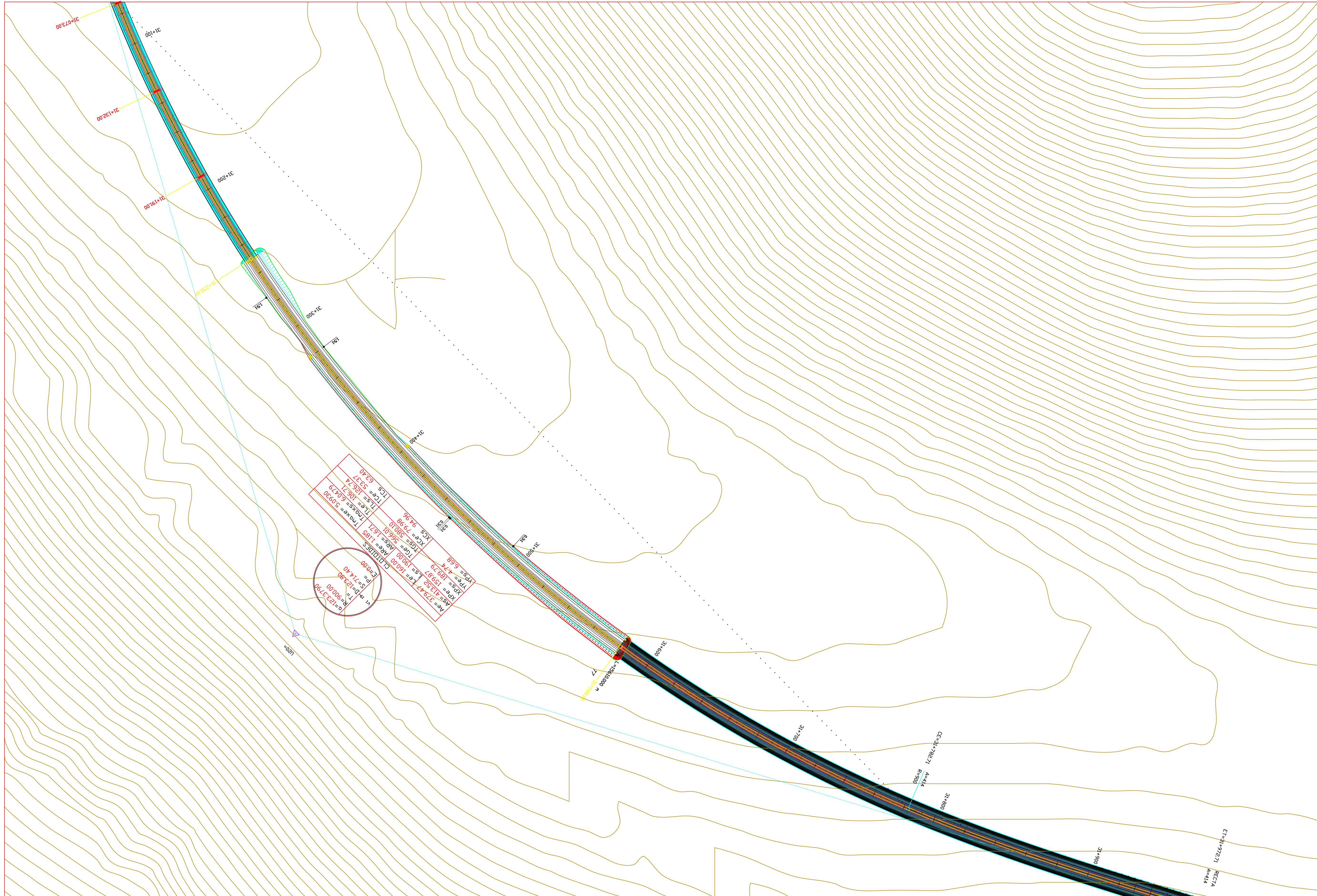
PROYECTO : ELECCIÓN MODAL PARA EL  
TRANSPORTE DE PASAJEROS Y  
PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO

NOMBRE PLANO :  
TRAZO CONCEPTUAL DEL FCCA  
TRAZADO DE VÍA  
PLANIMETRÍA

Tesista de proyecto:  
Bach:  
Jhonatan  
Cosme

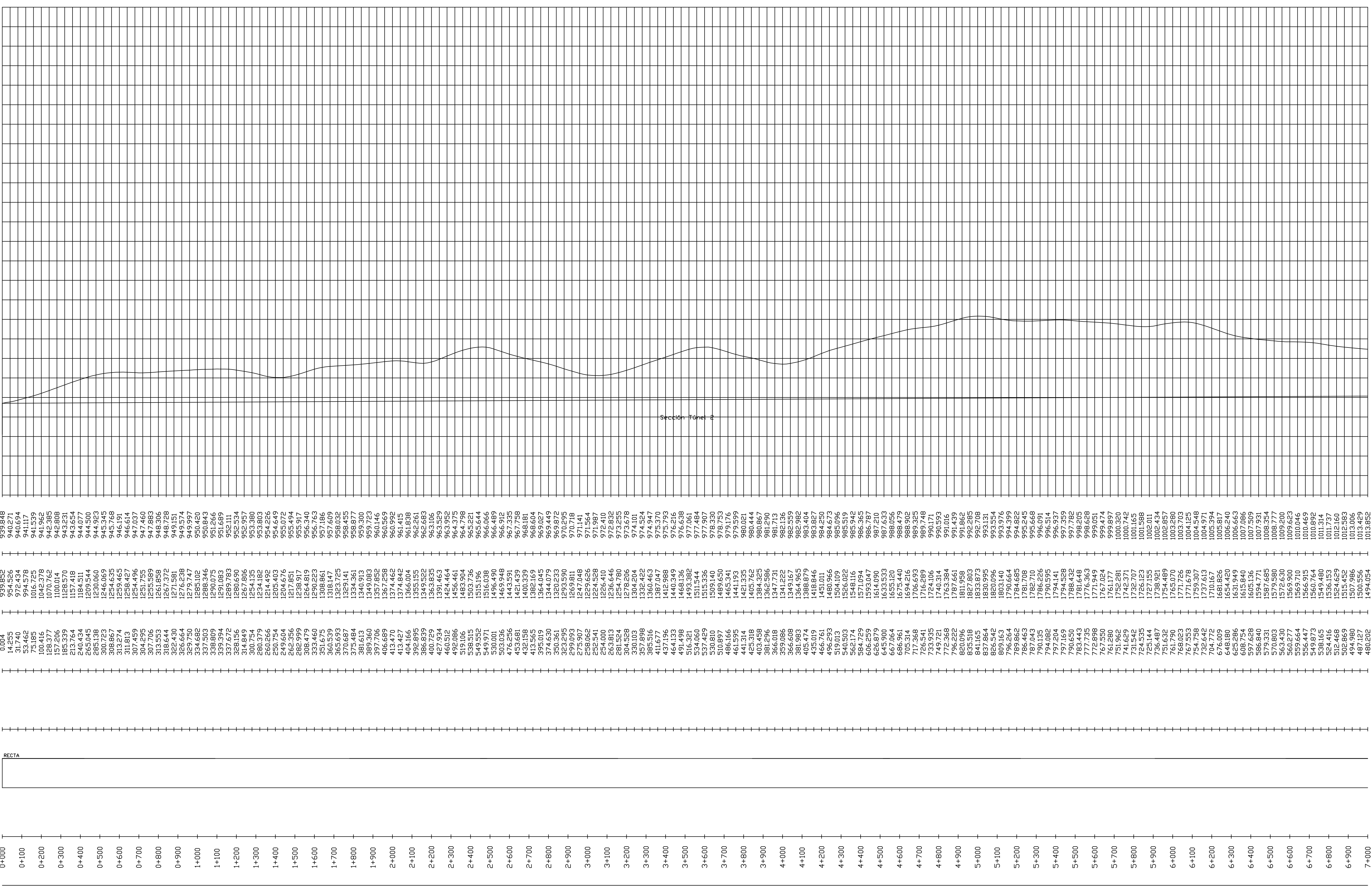
Asesor de proyecto:  
MSc. Ing.  
Edward  
SantaMaría

FECHA  
20/06/2024  
Número  
PL\_P01





| COTAS ROJAS            | ORDENADAS |                          |
|------------------------|-----------|--------------------------|
|                        | TERRENO   | COTA DE CABEZA DE CARRIL |
| DESMONTE               |           |                          |
| TERRAPLEN              |           |                          |
| DIAGRAMA DE CURVATURAS |           |                          |
| TERMINO MUNICIPAL      |           |                          |





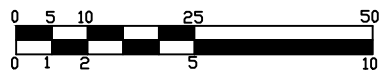
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA

FACULTAD  
DE INGENIERÍA CIVIL

ISPOL



ESCALAS  
HORIZONTAL 1 : 1000  
VERTICAL 1 : 200  
ORIGINAL



GRAFICA

PROYECTO : ELECCIÓN MODAL PARA EL  
TRANSPORTE DE PASAJEROS Y  
PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO

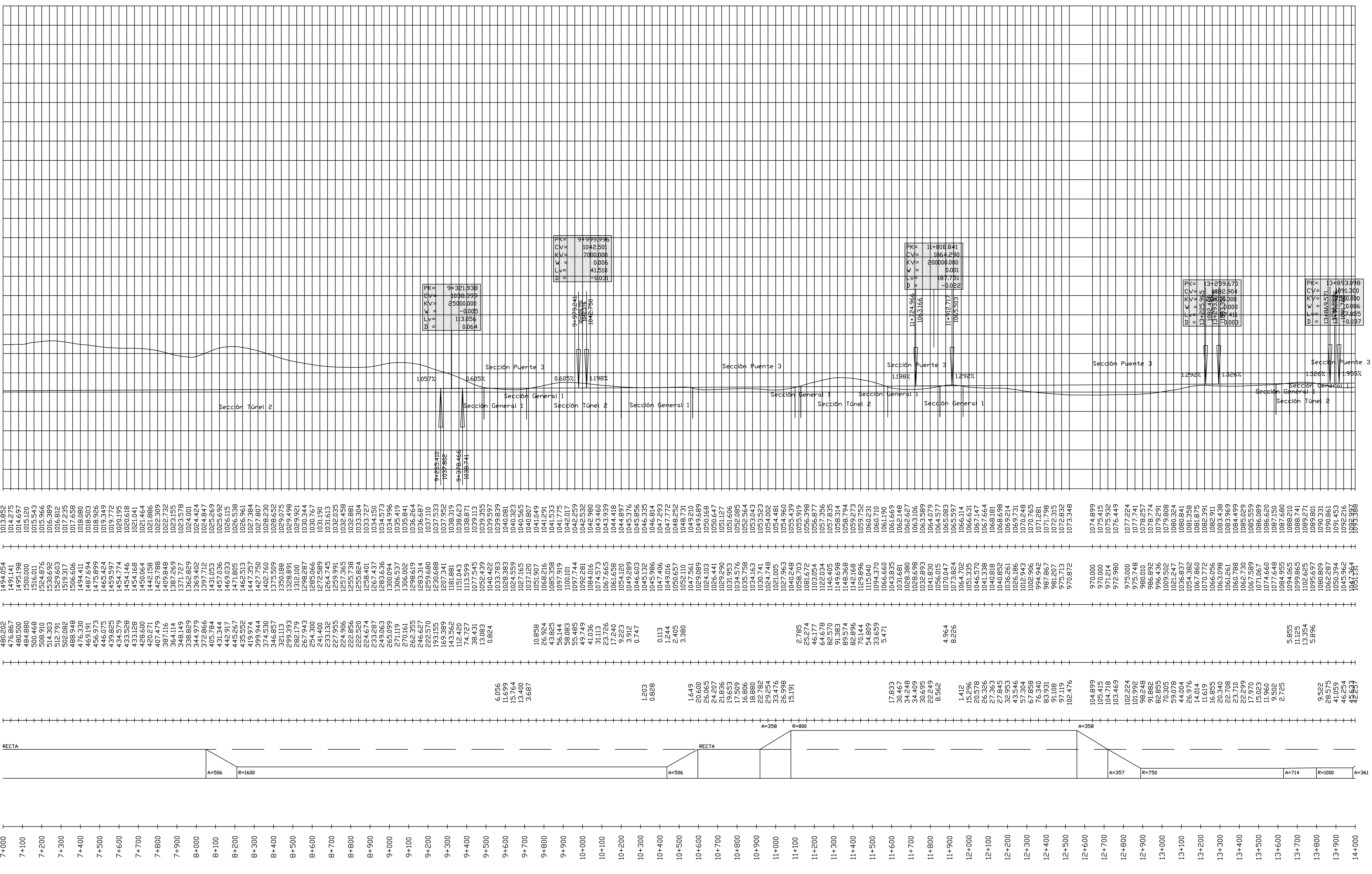
NOMBRE PLANO :  
TRAZO CONCEPTUAL DEL FCCA  
TRAZADO DE Vía  
ALTIMETRÍA PK 7+000 - 14+000

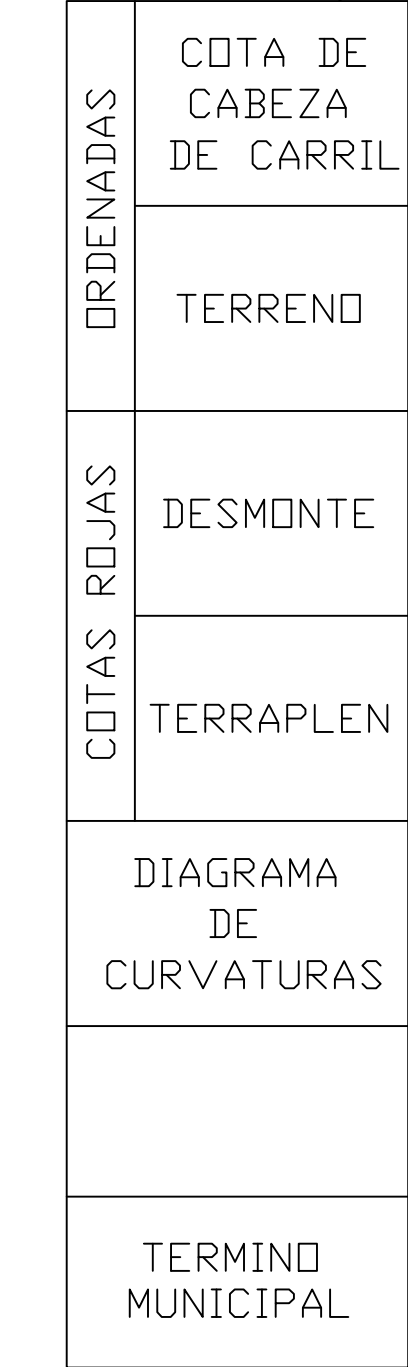
Testista de proyecto:  
Bach:  
Jhonatan  
Cosme

Asesor de proyecto:  
MSc. Ing.  
Edward  
SantaMaría

FECHA  
17/06/2024  
Número  
PL\_AL02  
Hoja 2 de 39

| ORDENADAS                    | COTA DE<br>CABEZA<br>DE CARRIL |
|------------------------------|--------------------------------|
|                              | TERRENO                        |
| COTAS ROJAS                  | DESMONTE                       |
| TERRAPLEN                    |                                |
| DIAGRAMA<br>DE<br>CURVATURAS |                                |
| TERMINO<br>MUNICIPAL         |                                |

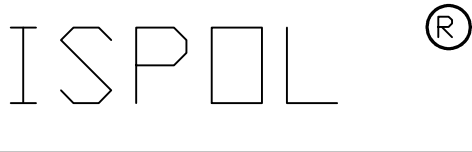




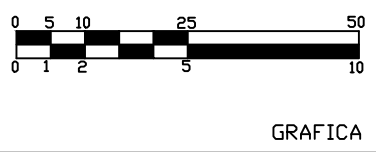


UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA

FACULTAD  
DE INGENIERÍA CIVIL



ESCALAS  
HORIZONTAL 1 : 1000  
VERTICAL 1 : 200  
ORIGINAL



PROYECTO : ELECCIÓN MODAL PARA EL  
TRANSPORTE DE PASAJEROS Y  
PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO

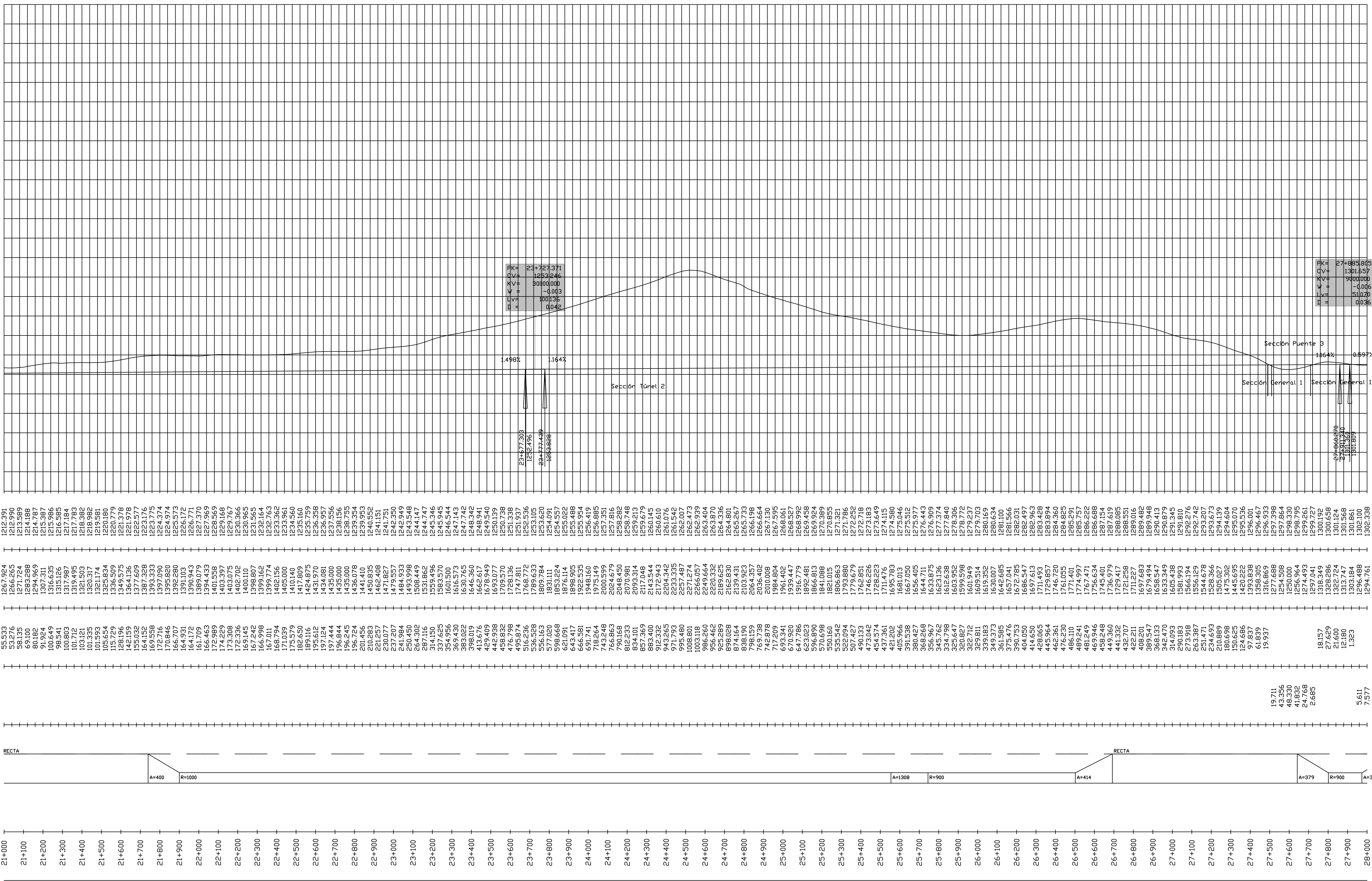
NOMBRE PLANO :  
TRAZO CONCEPTUAL DEL FCCA  
TRAZADO DE VÍA  
ALTIMETRÍA PK 21+000 - 28+000

Tesista de proyecto:  
Bach:  
Jhonatan  
Cosme

Asesor de proyecto:  
MSc. Ing.  
Edward  
SantaMaría

FECHA  
17/04/2024  
Número  
PL\_AL04  
Hoja 4 de 39

| COTAS ROJAS            | ORDENADAS |                          |
|------------------------|-----------|--------------------------|
|                        | TERRENO   | COTA DE CABEZA DE CARRIL |
| TERRAPLEN              |           |                          |
| DIAGRAMA DE CURVATURAS |           |                          |
| TERMINO MUNICIPAL      |           |                          |





UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA

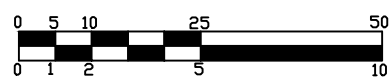
FACULTAD  
DE INGENIERÍA CIVIL

ISPOL®

ESCALAS

HORIZONTAL 1 : 1000  
VERTICAL 1 : 200

ORIGINAL



GRAFICA

PROYECTO : ELECCIÓN MODAL PARA EL  
TRANSPORTE DE PASAJEROS Y  
PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO

NOMBRE PLANO :

TRAZO CONCEPTUAL DEL FCCA  
TRAZADO DE VÍA  
ALTIMETRÍA PK 28+000 - 35+000

Tesista de proyecto

Bach.  
Jhonatan  
Cosme

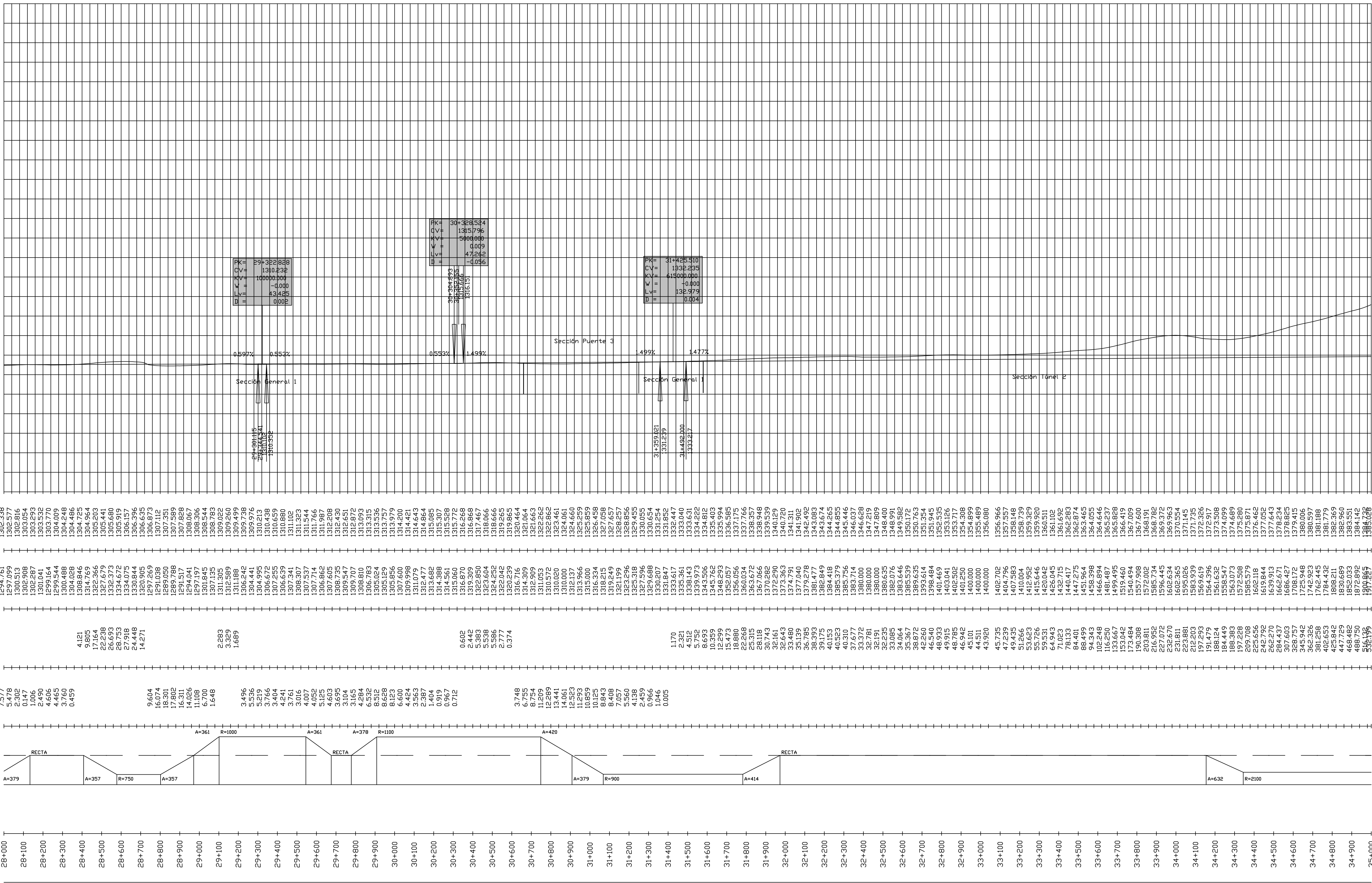
Asesor de proyecto

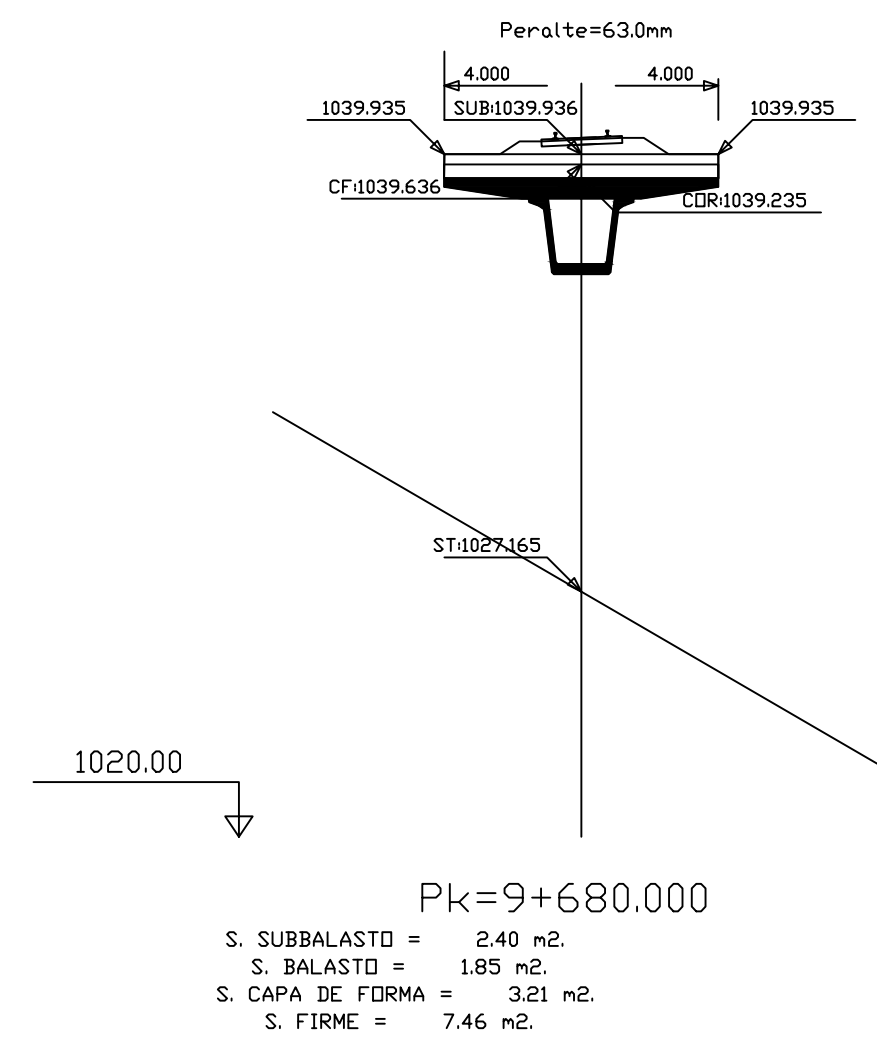
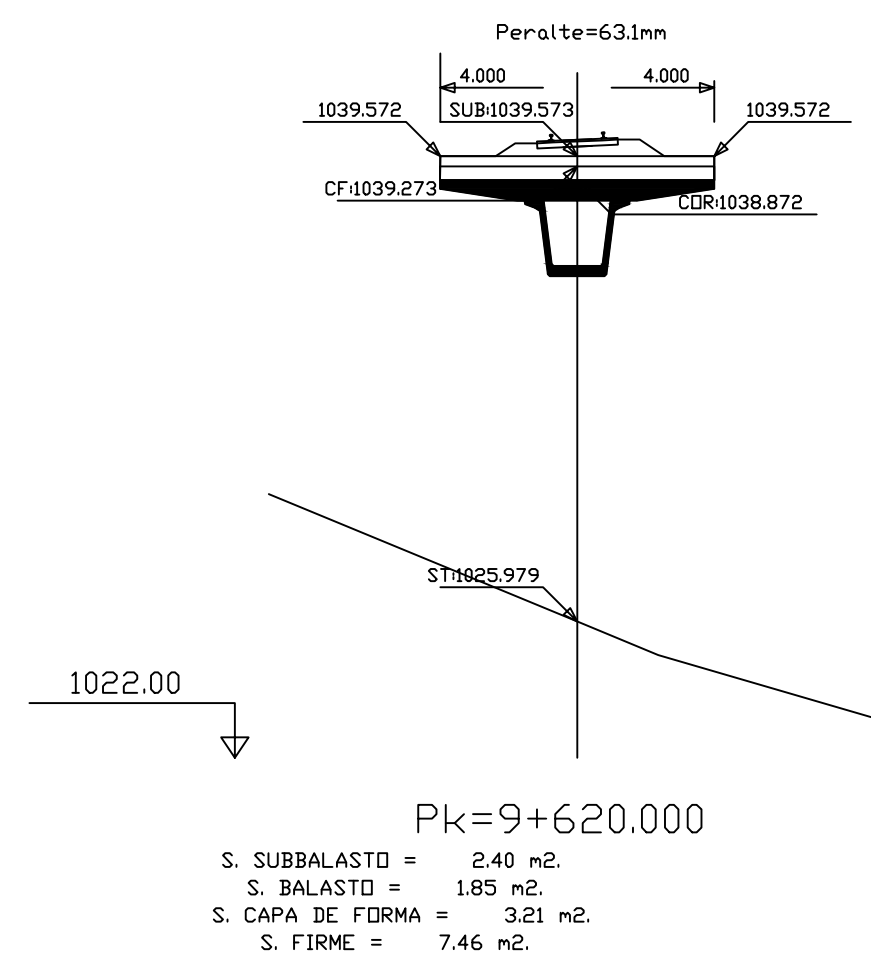
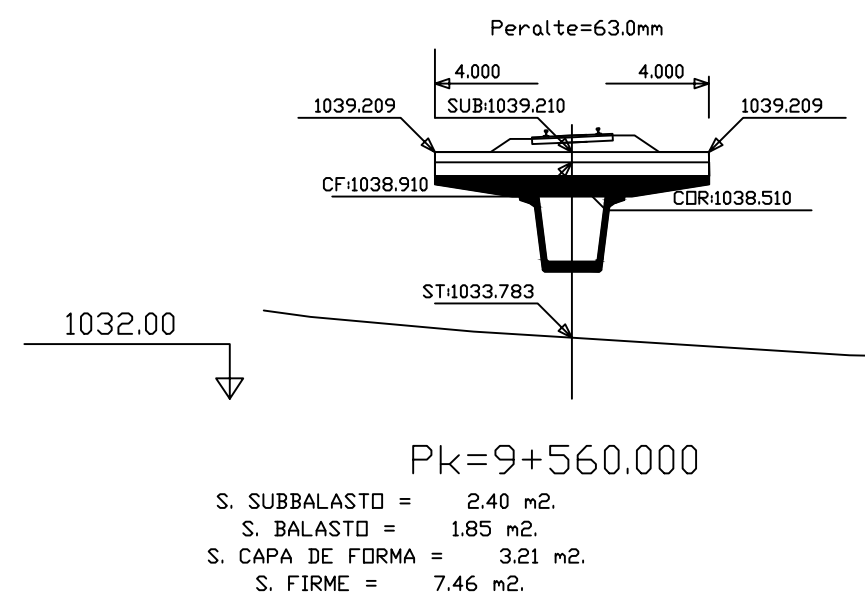
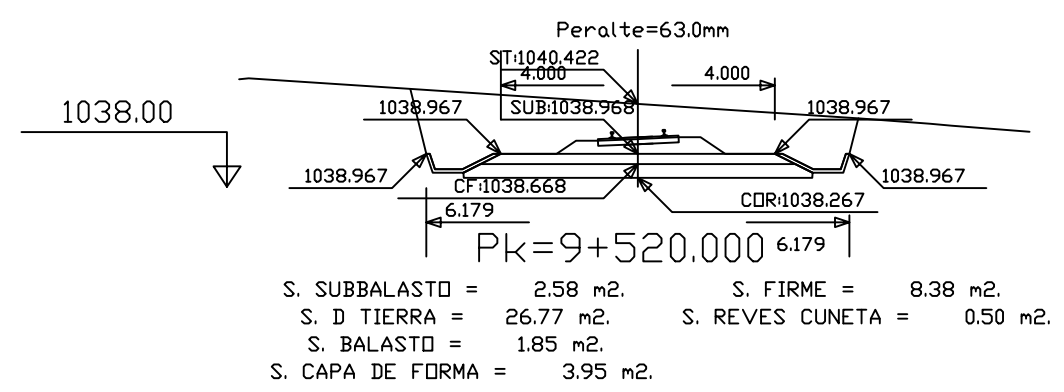
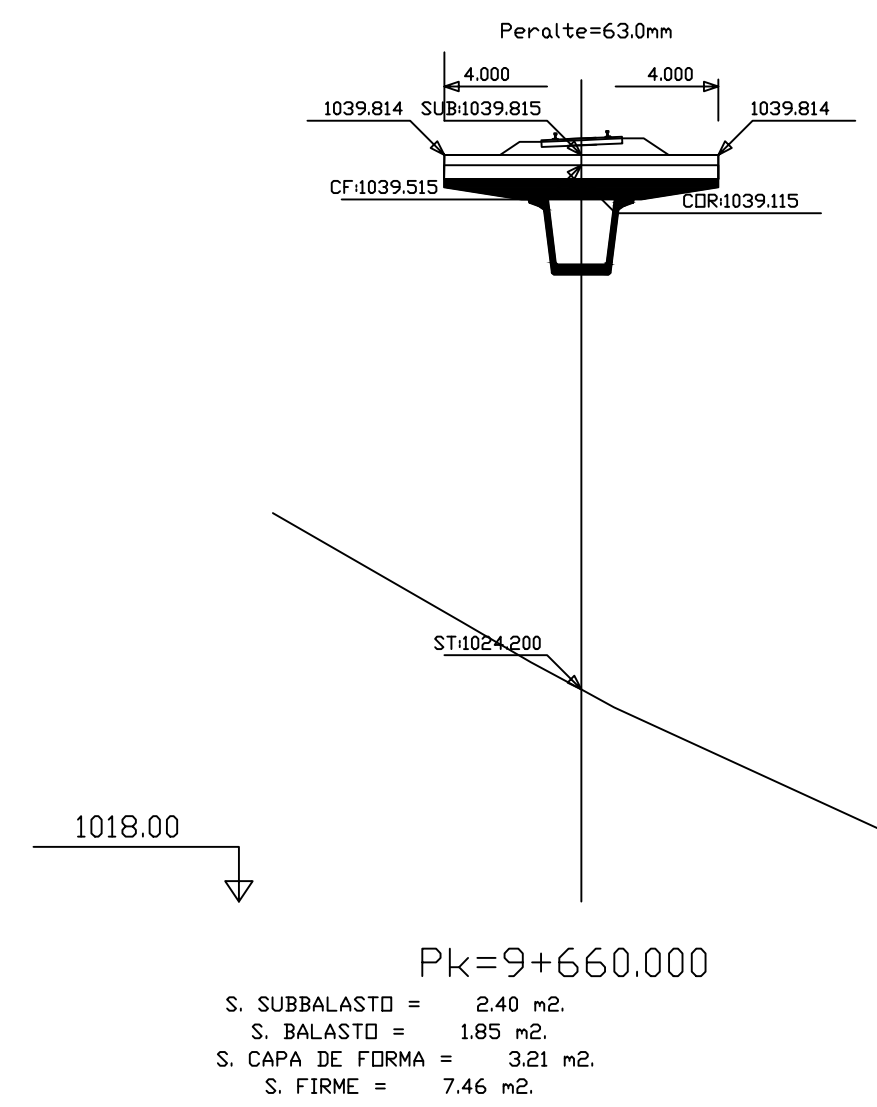
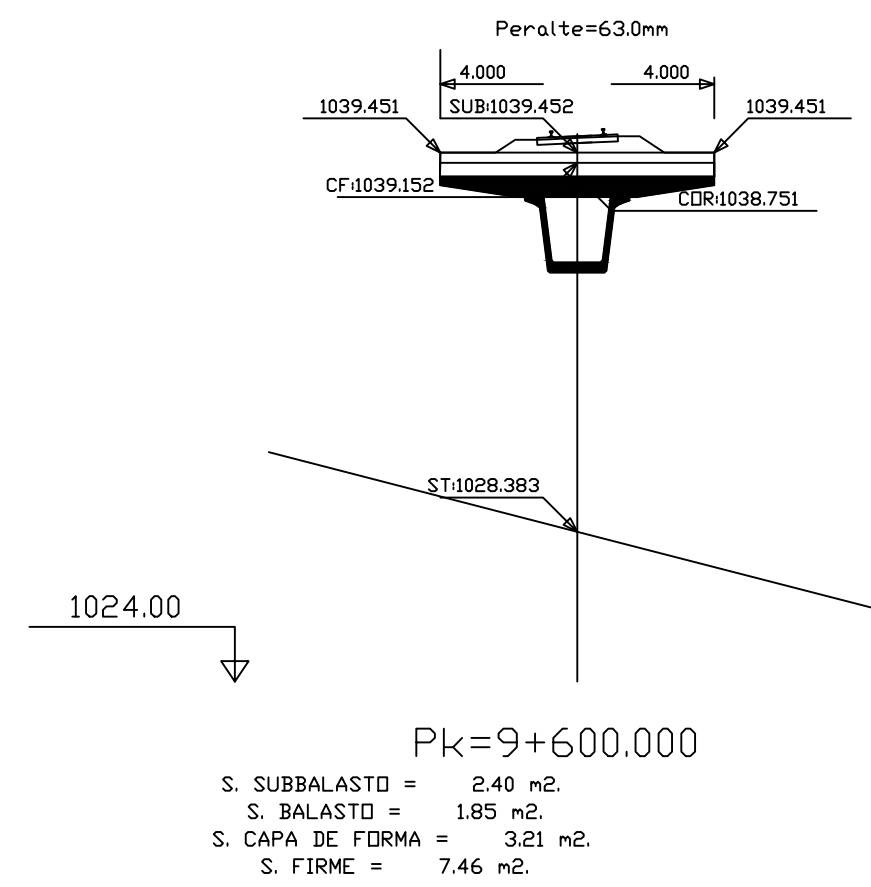
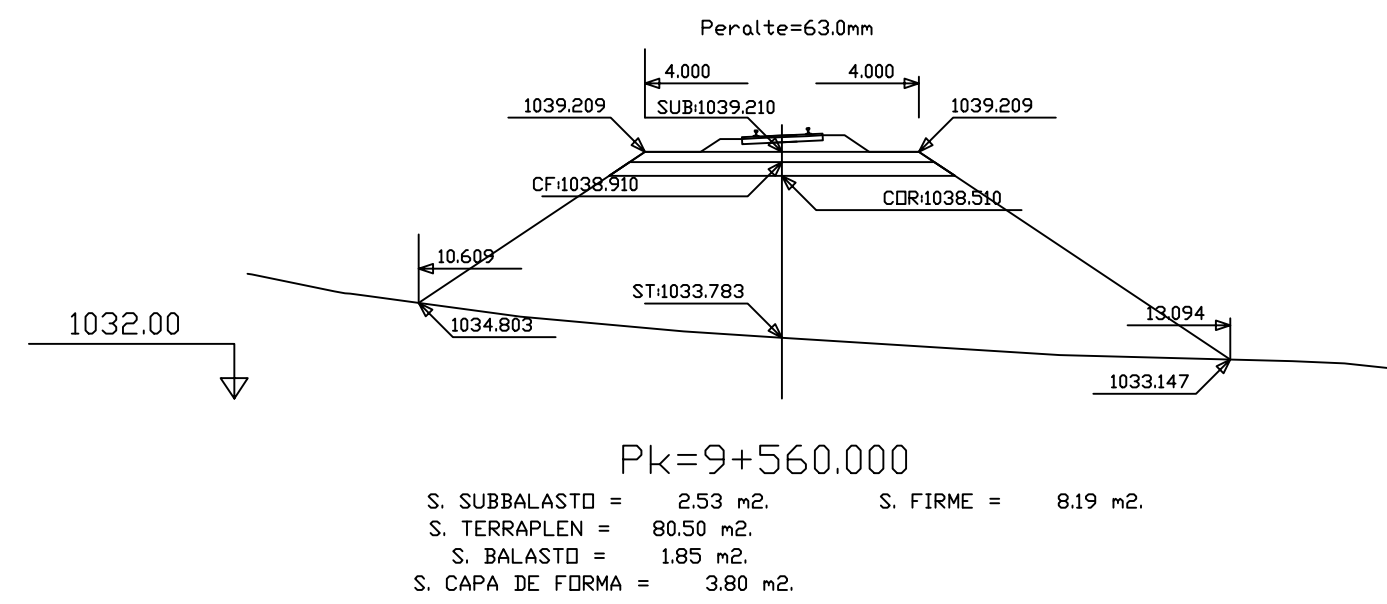
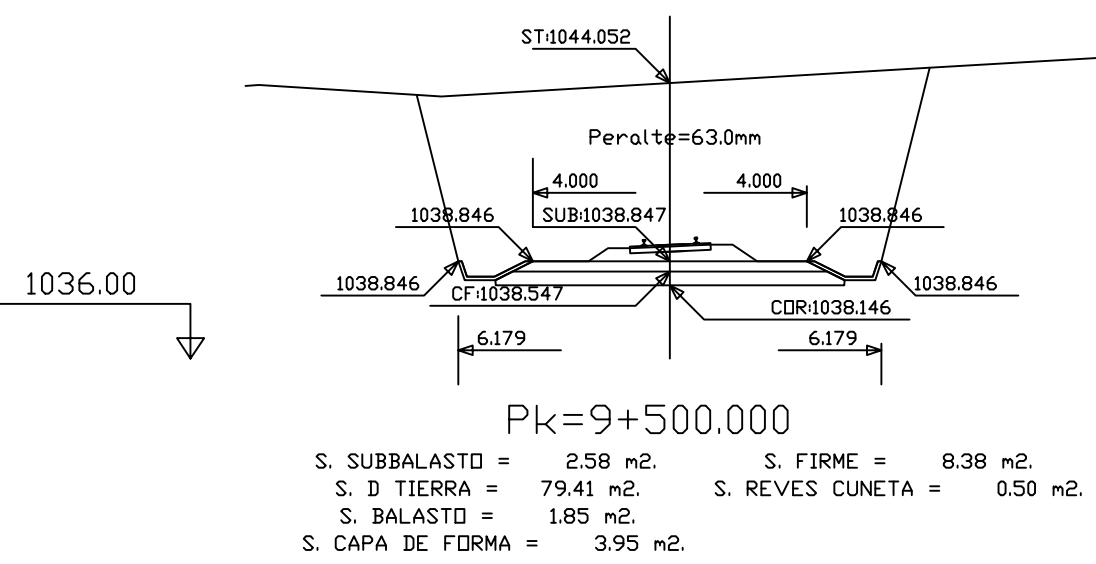
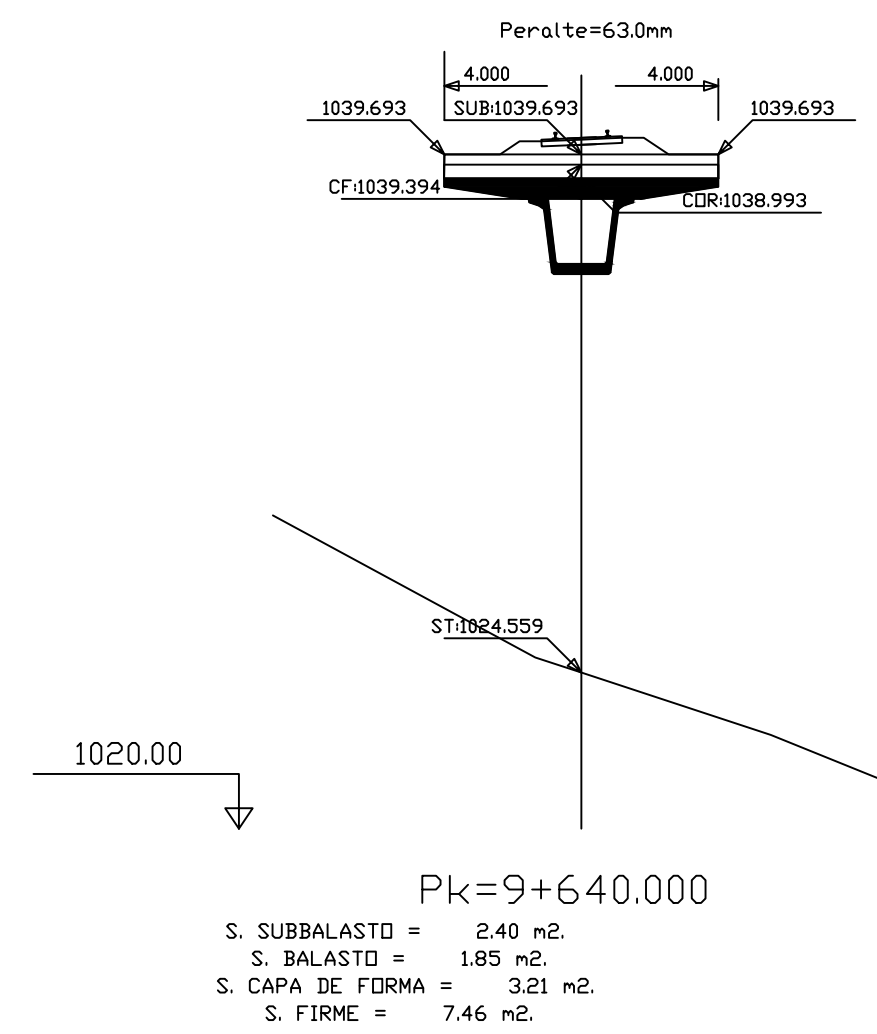
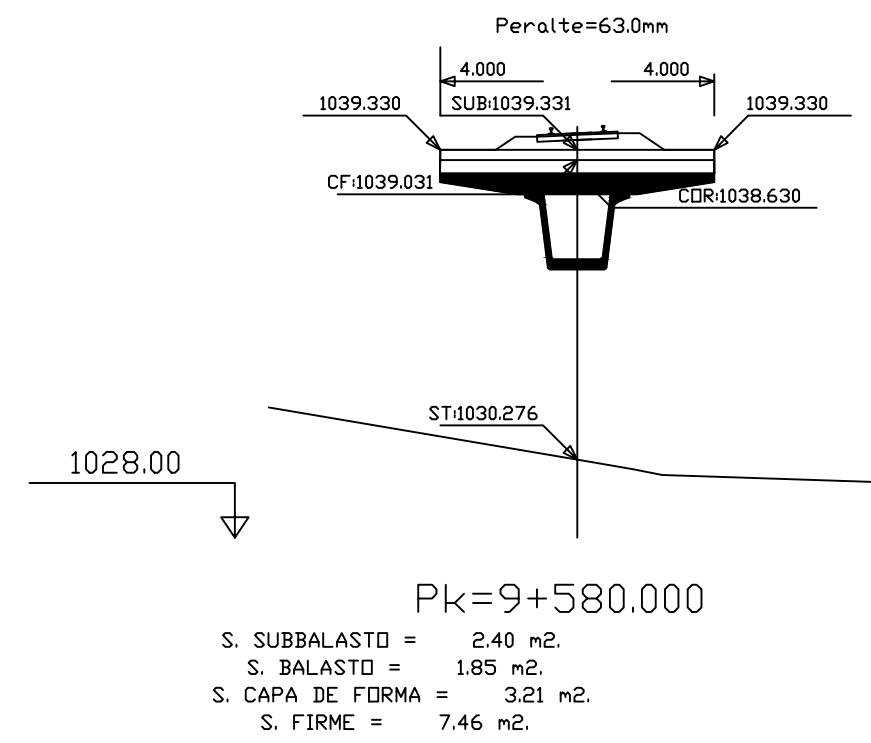
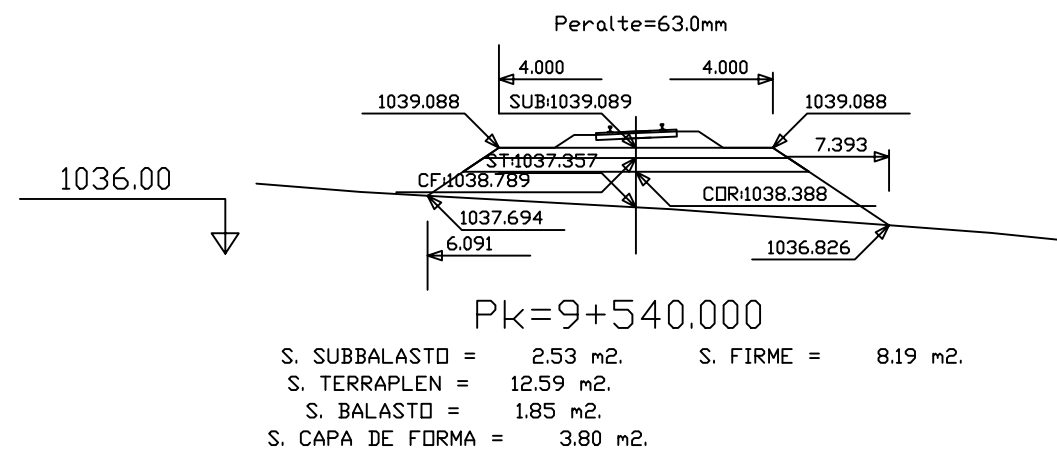
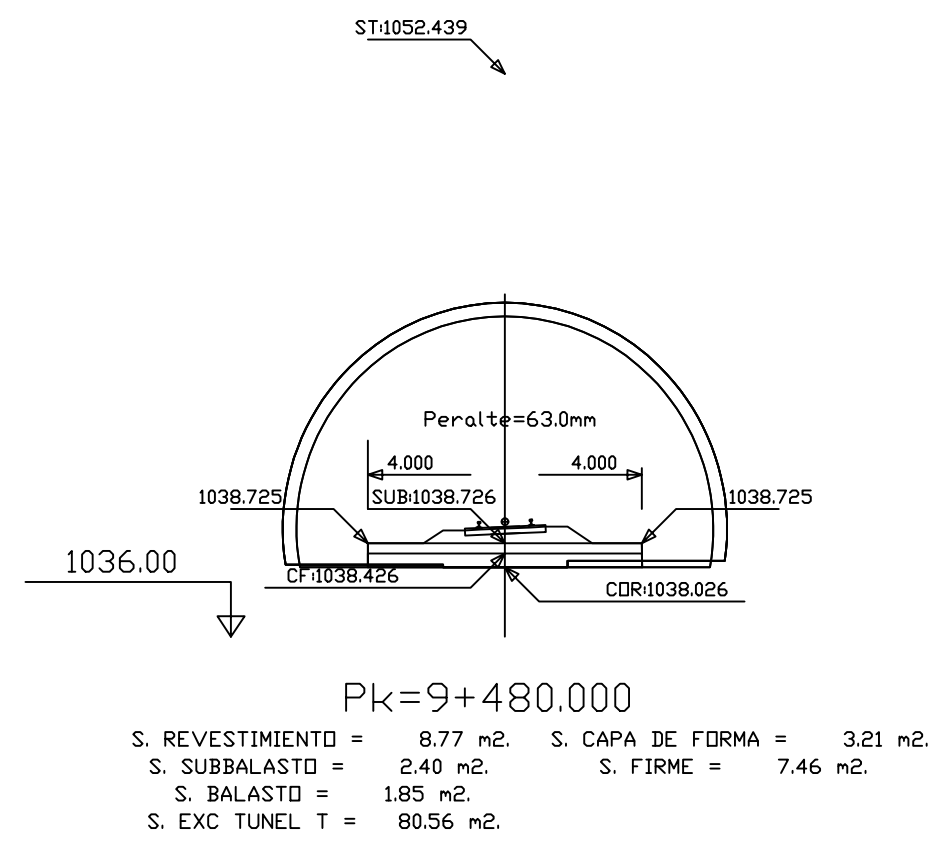
MSc. Ing.  
Edward  
SantaMaría

FECHA

17/06/2024  
Número  
PL\_AL05  
Hoja 5 de 39

| ORDENADAS                    | COTA DE<br>CABEZA<br>DE CARRIL |
|------------------------------|--------------------------------|
|                              | TERRENO                        |
| COTAS ROJAS                  | DESMONTE                       |
|                              | TERRAPLEN                      |
| DIAGRAMA<br>DE<br>CURVATURAS |                                |
| TERMINO<br>MUNICIPAL         |                                |





UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA

FACULTAD  
DE INGENIERÍA CIVIL

ISPOL

ESCALAS  
HORIZONTAL 1 : 1000  
VERTICAL 1 : 200  
ORIGINAL

0 5 10 25 50  
1 2 3 4 5  
GRAFICA

PROYECTO : ELECCIÓN MODAL PARA EL  
TRANSPORTE DE PASAJEROS Y  
PROPUESTA CONCEPTUAL DEL TRAZO  
DEL FERROCARRIL CENTRAL ANDINO

NOMBRE PLANO :  
TRAZO CONCEPTUAL DEL FCCA  
TRAZADO DE VÍA  
SECCIONES TIPO

Tesista de proyecto: Asesor de proyecto: FECHA  
Bach: Jhonatan Edward SantaMaría 17/06/2024  
Cosme Número  
PL\_S01