

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO
DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO
DE CAJAMARCA 2019**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

KARLA FIORELLA CORONEL MIRES

ASESOR

WILMER MOISÉS ZELADA ZAMORA

<https://orcid.org/0000-0002-6064-7506>

Chiclayo, 2021

**EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL
DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ,
DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA 2019**

PRESENTADA POR:

KARLA FIORELLA CORONEL MIRES

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

Segundo Guillermo Carranza Cieza

PRESIDENTE

Joaquín Hernán Rojas Oblitas
SECRETARIO

Wilmer Moisés Zelada Zamora
ASESOR

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a Dios, quien me ha dirigido por el buen camino, me ha dado fortaleza para superar las adversidades y aprendizaje de cada experiencia de la vida.

A mis padres, que me apoyaron durante toda mi época universitaria.

Y de manera especial, a mi hermana, por estar siempre a mi lado y ser mi apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, que en todo momento me ha dado paciencia y firmeza para finalizar este proyecto de investigación.

Así mismo, un grato agradecimiento para mi asesor, quién fue pieza primordial para el desarrollo de este trabajo.

Y a mi familia, la cual me proporcionó su apoyo durante la elaboración de mi tesis y que en todo momento me ha guiado por el camino correcto.

RESUMEN

El presente proyecto contempla la evaluación de la Red de Drenaje Pluvial del distrito de Yauyucan, perteneciente a la provincia de Santa Cruz en el departamento de Cajamarca. El largo periodo de precipitaciones pluviales intensas y las deficiencias que presenta la red pluvial generan problemas en la zona. El propósito principal de esta tesis es analizar el estado actual de la red pluvial existente mediante el estudio topográfico, hidrológico, hidráulico, descripción de componentes y modelamiento hidráulico. El estudio topográfico permitió la representación de la superficie terrestre de las calles y cunetas, el estudio hidrológico determinó el caudal de la cuenca aportante, el estudio hidráulico permitió hallar la capacidad actual de las cunetas, el estudio descriptivo de componentes de la red se efectuó de acuerdo a la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano y el modelamiento empleando el software Iber permitió la simulación hidráulica georreferenciada del proyecto. Los resultados indican que la localidad presenta un terreno escarpado y registra precipitaciones que varían hasta 9.66 mm. Además, el 33.3% de las calles tienen cunetas que no cumplen con evacuar el caudal correspondiente y el análisis descriptivo determinó que el 53.1% en su estado actual presentan deficiencias primordialmente por falta de mantenimiento. El modelamiento hidráulico determinó que la calle 19 de mayo es la más vulnerable por ser punto de descarga de las calles perpendiculares. Las propuestas de solución recomiendan desde la reconstrucción de cunetas hasta el cambio de drenaje superficial a alcantarillado.

PALABRAS CLAVE: Drenaje pluvial, cuneta, caudal, modelamiento hidráulico, propuestas de solución.

ABSTRACT

The present project contemplates the evaluation of the Storm Drainage Network of the Yauyucan district, belonging to the province of Santa Cruz in the department of Cajamarca. The long period of intense rainfall and the deficiencies in the pluvial network generate problems in the area. The main purpose of this thesis is to analyze the current state of the existing pluvial network through the topographic study, hydrological, hydraulic, description of components and hydraulic modeling. The topographic study allowed the representation of the land surface of the streets and ditches, the hydrological study determined the flow of the contributing watershed, the hydraulic study made it possible to find the current capacity of the ditches, the descriptive study of network components was carried out from according to the OS060 Urban Storm Drainage Standard and the modeling using Iber software allowed the georeferenced hydraulic simulation of the project. The results indicate that the locality presents a steep terrain and registers rainfall that varies up to 9.66 mm. In addition, 33.3% of the streets have ditches that do not comply with evacuating the corresponding flow and the descriptive analysis determined that 53.1% in their current state present deficiencies mainly due to lack of maintenance. The hydraulic modeling determined that 19 de Mayo street is the most vulnerable as it is the discharge point for perpendicular streets. The solution proposals recommend from the reconstruction of ditches to the change from surface drainage to sewerage.

KEYWORDS: Storm drainage, ditch, flow, hydraulic modeling, proposed solutions.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	14
II.	MARCO TEÓRICO	18
2.1.	Antecedentes del problema.....	18
2.2.	Bases Teórico Científicas	22
2.2.1.	Topografía.....	22
2.2.1.1.	Modelo Topográfico Digital.....	22
2.2.2.	Hidrología	23
2.2.2.1.	Cuenca Hidrológica	23
2.2.2.2.	Evaluación de información hidrológica	27
2.2.2.3.	Análisis estadístico de datos hidrológicos.....	29
2.2.2.4.	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	31
2.2.2.5.	Intensidad de lluvia	33
2.2.2.6.	Coefficiente de escorrentía	33
2.2.2.7.	Caudal de máxima avenida.....	35
2.2.3.	Consideraciones de Cálculos Hidráulicos.....	36
2.2.3.1.	Conducción a superficie libre.....	37
2.2.3.2.	Determinación de la sección transversal	38
2.2.3.3.	Características del flujo	40
2.2.3.4.	Ecuaciones Fundamentales para Diseño	42
2.2.4.	Red de Drenaje Pluvial	46
2.2.4.1.	Estructuras de Captación.....	46
2.2.4.2.	Estructuras de Conducción.....	48
2.2.4.3.	Estructuras de Conexión y Mantenimiento	49
2.2.4.4.	Estructuras de Descarga	49
2.2.4.5.	Disposición Final.....	50
2.2.5.	Modelo digital de elevaciones	51
2.2.6.	Modelamiento Hidráulico	51
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	53

3.2. Diseño de investigación.....	53
3.3. Población, muestra, muestreo	53
3.4. Criterios de selección.....	53
3.5. Operacionalización de variables	53
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
3.6.1. TÉCNICAS	55
3.6.1.1. Levantamiento Topográfico.....	55
3.6.1.2. Estudio Hidrológico	55
3.6.1.3. Estudio Hidráulico	56
3.6.1.4. Análisis descriptivo de componentes de red de drenaje pluvial	56
3.6.1.5. Modelamiento Bidimensional	56
3.6.2. INSTRUMENTOS.....	56
3.7. Procedimientos	57
3.7.1. Estudio Topográfico.....	57
3.7.2. Estudio Hidrológico	58
3.7.3. Estudio Hidráulico.....	59
3.7.3.1. Análisis de la capacidad actual	60
3.7.4. Análisis descriptivo de componentes de red de Drenaje Pluvial	60
3.7.5. Modelamiento Bidimensional en Iber	60
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos.....	65
3.9. Matriz de consistencia	67
3.10. Consideraciones éticas.....	69
IV. RESULTADOS.....	70
4.1. Estudio Topográfico	70
4.1.1. Levantamiento Topográfico.....	70
4.1.2. Trabajo de gabinete.....	70
4.1.2.1. Exportación de datos topográficos	70
4.1.2.2. Procesamiento de datos topográficos.....	70
4.2. Estudio Hidrológico.....	71

4.2.1. Parámetros morfométricos de la cuenca Yauyucan	71
4.2.1.1. Área de cuenca	72
4.2.1.2. Clasificación de cuenca.....	73
4.2.1.3. Perímetro de la Cuenca	73
4.2.1.4. Cota máxima y mínima de cuenca	73
4.2.1.5. Longitud del cauce principal.....	73
4.2.1.6. Pendiente promedio de la cuenca.....	73
4.2.1.7. Índice de Gravelius	73
4.2.1.8. Factor de Forma	73
4.2.2. Selección del periodo de retorno	73
4.2.3. Tiempo de concentración	74
4.2.4. Registro de Información Hidrológica.....	74
4.2.5. Intensidad de lluvia	74
4.2.5.1. Análisis estadístico de datos hidrológicos	74
4.2.5.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia	81
4.2.6. Caudal Hidrológico	82
4.3. Estudio Hidráulico	84
4.3.1. Análisis de la capacidad actual de cunetas	87
4.4. Análisis descriptivo de componentes de Red de Drenaje Pluvial.....	87
4.4.1. Cunetas	88
4.4.1.1. Dimensiones de la sección transversal.....	89
4.4.1.2. Revestimiento	89
4.4.1.3. Mantenimiento	89
4.5. Destino final de aguas pluviales	90
4.6. Interpretación de Modelamiento Bidimensional en Iber	91
4.7. Propuestas de solución.....	93
V. DISCUSIÓN.....	98
VI. CONCLUSIONES	101
VII. RECOMENDACIONES.....	103
VIII. REFERENCIAS	104

IX. ANEXOS	108
ANEXO N° 01: Documentos	108
ANEXO N° 02: Tablas	113
ANEXO N° 03: Imágenes	125
ANEXO N° 04: Planos	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora	32
Tabla N° 02: Coeficientes de esorrentía para ser utilizados en el Método Racional	34
Tabla N° 03: Coeficiente de rugosidad de Manning (N)	44
Tabla N° 04: Velocidades Límites Admisibles	45
Tabla N° 05: Caudales de subcuencas del distrito de Yauyucan	64
Tabla N° 06: Características Morfométricas de Cuenca Hidrográfica.....	71
Tabla N° 07: Media muestral y desviación estándar – Método de Gumbel.....	75
Tabla N° 08: Precipitación media máxima diaria para 2,5 y 10 años de periodo de retorno – Método de Gumbel.....	76
Tabla N° 09: Aplicación de coeficiente de duración de lluvia – Método de Gumbel.....	76
Tabla N° 10: Intensidad de lluvia sin distribución logarítmica –Método de Gumbel	77
Tabla N° 11: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 2 años – Método de Gumbel.....	77
Tabla N° 12: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 5 años – Método de Gumbel.....	78
Tabla N° 13: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 10 años – Método de Gumbel.....	79
Tabla N° 14: Resumen de aplicación de regresión potencial – Método de Gumbel.....	80
Tabla N° 15: Coeficientes K, m, n de regresión potencial – Método de Gumbel.....	81
Tabla N° 16: Tabla Final de Intensidades (mm/h) –Tiempo de duración (min).....	81
Tabla N° 17: Caudal de la cuenca	83
Tabla N° 18: Caudal de la cuenca – Método Racional	83
Tabla N° 19: Caudal por precipitación de lluvia por cada calle	84
Tabla N° 20: Características de cunetas de la red pluvial de la localidad.....	86
Tabla N° 21: Análisis hidráulico de nuevas dimensiones en cunetas deficientes hidráulicamente.....	94

Tabla N° 22: Análisis Hidráulico de dimensiones en cunetas en mal estado de infraestructura.....**95**

Tabla N° 23: Análisis Hidráulico de dimensiones de cunetas en calles donde no existe dicho elemento **95**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Sección Transversal de cunetas	47
Figura N° 02: Malla topográfica del área del proyecto en estudio	61
Figura N° 03: Creación de TIN y Raster en Software ArcGIS.....	62
Figura N° 04: Modelo Digital de Elevaciones en ArcGIS.....	62
Figura N° 05: Orto Foto de Google Earth del Distrito de Yauyucan.....	63
Figura N° 06: Orto Foto de SAS Planet del Distrito de Yauyucan.....	63
Figura N° 07: Polígono en estudio en formato Shapefile – Programa ArcGIS	64
Figura N° 08: Delimitación de cuenca Yauyucan en ArcGIS	72
Figura N° 09: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 2 años – Método de Gumbel	78
Figura N° 10: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 5 años – Método de Gumbel	79
Figura N° 11: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 10 años – Método de Gumbel	80
Figura N° 12: Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia.....	82
Figura N° 13: Modelamiento hidráulico bidimensional en software Iber	92
Figura N° 14: Resultados de calado en modelamiento en software Iber	93

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, con los avances económicos de los países y el afán por la mejora de calidad de vida de la población en todo el mundo, se busca invertir en desarrollo urbano, mejorando los sistemas de drenaje pluvial y alcantarillado. Estos sistemas hoy en día se encuentran muy sofisticados en países desarrollados, generando una mejor calidad de vida, disminuyendo la proliferación de enfermedades y mejorando el entorno urbano de sus ciudades.

Según Ávila [1], una red de drenaje pluvial urbano debe resguardar las vidas humanas, infraestructura urbana, el entorno natural y conservar la movilidad vehicular y peatonal. Por ello, debe ser diseñado y construido para que cumpla sus funciones eficientemente. Sin embargo, en diversas ocasiones, cuando se presenta una lluvia de alta intensidad, los sistemas de drenaje pluvial pueden mostrarse ineficientes y presentarse encharcamientos e inundaciones.

Según Cárdenas [2], el principal objetivo de un sistema de drenaje pluvial urbano es evitar daños que puedan generar las aguas de origen pluvial y superficial, ya que, si estas no se encuentran correctamente dispuestas hacia lugares destinados para su correcta evacuación, se llegarán a originar inundaciones causadas por tormentas. Una red pluvial está conformada por elementos cuya función es captar, conducir y desalojar el agua precipitada que escurre sobre una urbe. Sin embargo, un factor importante a considerar, es que a medida que las ciudades se acrecientan y desarrollan, las áreas urbanizadas aumentan. Se construyen viviendas y se pavimentan nuevas calles, existiendo cada vez mayor número de superficies impermeables. Esta coyuntura impacta negativamente en la infiltración natural del terreno, lo que genera considerables incrementos de los volúmenes de escorrentía.

En nuestro país, los sectores urbanizados crecen de forma indiscriminada, sin una adecuada planificación, generando incompatibilidades entre el avance del agua por gravedad y la dirección de los sistemas pluviales existente. Por ello, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento plantea la necesidad de destinar recursos para la construcción de sistemas de drenaje pluvial, considerando de forma elemental, que los proyectos a ejecutar deben ser sostenibles en todos los ámbitos: ambiental, social y comercial. Sin embargo, este planteamiento antepone como prioridad, el mantenimiento de la infraestructura existente, mejorar los expedientes de contratación, diseñar y

ejecutar las acciones de prevención que garanticen la continuidad de los servicios en situaciones de emergencia y la implementación de un manejo integral de los recursos hídricos sin generar impactos significativos en la hidrología de una cuenca hidrográfica.

Yauyucan es uno de los 11 distritos pertenecientes a la provincia de Santa Cruz, en el departamento de Cajamarca (Ver anexo 3.1). Se encuentra a una altitud de 2400 m.s.n.m. y cuenta con una población de 3603 habitantes. El periodo de precipitaciones pluviales intensas abarca desde el mes de octubre hasta el mes de abril. Esta situación es compleja, ya que, al tratarse de un periodo largo de tiempo, se genera un escenario adverso y condiciona negativamente el desenvolvimiento normal de las actividades socioeconómicas de la población. Las lluvias de gran intensidad traen como consecuencia el deterioro de la ciudad, pues las estructuras de la localidad se ven afectadas.

La red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan está compuesta por un sistema de cunetas que tienen como finalidad evacuar el agua de lluvia por gravedad. Esta red presenta deficiencias y existen algunas calles que no cuentan con cunetas. Por consecuencia, se acontecen inundaciones. Se suma a dichas deficiencias, la falta de planes de mantenimiento (Ver anexo 3.2-3.6).

Las viviendas unifamiliares de la zona representan gran vulnerabilidad ante toda esta situación, pues el 85% de las viviendas son de tierra según las cifras que otorga el Instituto Nacional de Estadística e Informática. Además, las pistas de la localidad se ven perjudicadas por esta situación problemática, ya que, el agua estancada produce daños en el estado del pavimento y desorden urbanístico que dificulta y lentifica las actividades diarias principales del distrito, como la agricultura y ganadería que son sustento económico familiar (Ver anexo 3.7-3.10).

Por otra parte, la transitabilidad de la zona se ve perjudicada, algunos pobladores se ven obligados a postergar sus actividades diarias y los niños de la zona interrumpen sus actividades escolares al no poder circular de manera cómoda y segura.

A todo esto, surge la necesidad de realizar la evaluación de la red de drenaje pluvial en el distrito de Yauyucan, con la finalidad de analizar el estado actual de la red y otorgar propuestas de mejoramiento, las cuales contribuyan a una mejora de la calidad de vida de los pobladores y al progreso de la localidad.

Con respecto a la justificación técnica del proyecto, se realizará una evaluación de la red existente de acuerdo a normativas vigentes del país y empleando libros y manuales

de estudios y cálculos topográficos, hidrológicos e hidráulicos. También, se aplicarán programas como ArcGIS e Iber, los cuales otorgarán resultados que contribuyan a la realización de propuestas de mejoramiento del sistema en estudio.

En el aspecto social, se busca posibilitar una fluida interconexión entre los pobladores de Yauyucan en tiempos de intensas lluvias, permitiendo que los habitantes de la zona puedan realizar fácilmente sus actividades cotidianas, sin presentar inconvenientes en ningún tiempo del año. Además, se busca evitar la aparición de olores pútridos resultantes del anegamiento de las aguas y la proliferación de diversos tipos de moho, insectos o roedores que ocasionen enfermedades infecciosas en la población. Este proyecto permitirá desarrollar óptimas condiciones de transitabilidad, mejorando la calidad de vida de los habitantes, incrementando el desarrollo social y eludiendo malestares en la población.

Económicamente, este proyecto busca contribuir a la mejora de las actividades económicas internas del distrito, para que estas se realicen de forma estable e inalterable en todo el año, ya que la tasa de pobreza de la zona es de 72.1% según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, por lo tanto, se considera un porcentaje alto, lo cual refleja una población frágil económicamente y que atraviesa situaciones en las cuales no se llega a satisfacer de manera adecuada las necesidades básicas de los habitantes. También pretende evitar daños de las estructuras de la zona, las cuales acarrearán un costo de por medio.

En el ámbito científico, el desarrollo del proyecto permitirá aplicar diferentes conocimientos en las especialidades que comprende su elaboración, estas son: Estudios topográficos, estudios hidrológicos y cálculos hidráulicos que permitirán el análisis de los componentes existentes de la red.

En el aspecto ambiental, este proyecto evitará que el agua empozada afecte directamente los componentes del medio ambiente: aire, tierra y agua, pues el agua de lluvia estancada en contacto con los terrenos agrícolas, afecta seriamente las especies florales y cultivos de la zona. De la misma forma, la fauna de la zona también se encuentra expuesta a los problemas que acarrea el estancamiento de agua.

Por último, de manera personal, se eligió este proyecto puesto que está orientado a la rama de la hidráulica, siendo esta una de las especialidades de mi mayor interés.

El objetivo principal de este proyecto es evaluar el Sistema de Drenaje Pluvial existente en el distrito de Yauyucan. Esto será posible a través de la realización de los

estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, análisis descriptivo de los componentes de la red pluvial existente y un modelamiento bidimensional en software Iber. Y de manera consecuente, proponer soluciones viables para la optimización general del sistema.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Se describen diversos estudios que presenten relación y sirven de referencia para el adecuado enfoque del proyecto en mención.

D. Rodriguez Murillo, "Evaluación del drenaje pluvial existente en la carretera Santa Clara- Entronque Vueltas comprendido entre el kilómetro 3 y 4", Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9275/Final%20Daniel%20rodriguez%20original.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

El presente trabajo de diploma analiza el sistema de drenaje pluvial existente en el tramo de carretera del kilómetro 3 al 4 en la carretera Santa Clara-Entronque Vueltas, en la urbanización “El Gigante”, con la intención de plantear una alternativa de solución a las inundaciones frecuentes en dicho tramo, averiguando como aminorar al máximo posible retardos en el drenaje rural y suburbano existente en la zona, evadiendo daños a la estructura vial y edificaciones más próximas. El diseño empleado para determinar la sección triangular determinante en las cunetas, el chequeo de los tubos en las atajeas, y el diseño realizado para el empleo de tragantes se realizó mediante las consideraciones de la norma cubana NC48-26:84, la cual emplea como base de análisis de las cuencas hidrológicas el método racional, el cual brinda resultados económicos y seguros, que se adaptan muy bien a las características tropicales de dicho país. Como conclusión, se plantea cambiar las secciones de las cunetas de un tramo e implementar componentes al drenaje pluvial existente.

J. Rivadeneira Molina, "Diseño del sistema de alcantarillado pluvial del Barrio “La Campiña del Inca” Canton Quito, Provincia de Pichincha", Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Ecuador, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6402/9.20.001314.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

En esta tesis, se ha formulado la exigencia de considerar un sistema de alcantarillado pluvial, que proporcione la posibilidad de perfeccionar el nivel de vida y salubridad de los moradores del poblado. Dicho sistema tiene como objetivo principal, eludir el estancamiento de aguas de lluvias, ya que esto integraría una fuente de reproducción de microorganismos y mosquitos responsables de variadas enfermedades infecciosas, obstaculizando la transitabilidad de personas y vehículos, provocando que las personas no puedan desarrollar sus actividades diarias de manera normal.

Con respecto al estudio del problema en el primer capítulo de esta tesis, se examinaron las características físicas, naturales, ambientales y socioeconómicas de una localidad; en el segundo capítulo se implanta un análisis físico del sector según estudios topográficos y de suelos, en el tercer capítulo se realizó un diseño completo del alcantarillado pluvial. En el cuarto capítulo encontramos una evaluación de impacto ambiental del proyecto. Como conclusión, se plantea un sistema de alcantarillado pluvial, empleando tuberías de PVC y planteando un proceso de construcción viable donde se aminore el volumen de excavación, relleno y compactación.

R. Cárdenas Fleires, "Diseño de un sistema de drenaje pluvial óptimo y funcional para el sector "La Rotaria" de la Parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Edo.-Zulia", Trabajo especial de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela, 2006. [En línea]. **Disponible** **en:**

https://www.academia.edu/35197052/DISE%C3%91O_DE_UN_SISTEMA_DE_DRENAJE_PLUVIAL_OPTIMO_Y_FUNCIONAL_PARA_EL_SECTOR_LA_ROTARIA_DE_LA_PARROQUIA_RA%C3%91AL_LEONI_DE_MARACAIBO_EDO_ZULIA

El presente trabajo plantea el desarrollo de un sistema de drenaje óptimo y funcional que permita a los pobladores del sector "La Rotaria" un desenvolvimiento normal en periodos de lluvia. Se define al crecimiento indiscriminado de las grandes urbes y la falta de planificación efectiva como la gran problemática y causa primordial de inundaciones en una zona urbana. Además, detalla que en Venezuela la gran mayoría de los sistemas de drenajes son muy deficientes. El drenaje pluvial diseñado en la tesis calculó la intensidad de diseño mediante las curvas de intensidad, duración y frecuencia y aplicó el método racional para el cálculo del caudal de la cuenca. Como

recomendación, el autor establece la necesidad de tener datos de precipitaciones que sean precisos para poder realizar correctos diseños de obras de drenaje y también determina que la población debería ser consciente acerca del cuidado de las estructuras de drenaje, evitando el arrojado de basura y así no obstruir el flujo normal en las estructuras de la red pluvial.

H. Ávila, “Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático – caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia”, *Revista de Ingeniería*, n.º 36, pp.54-59, Junio 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n36/n36a11.pdf>. Acceso: setiembre 2019.

Este artículo muestra un diagnóstico general de la problemática y una discusión acerca de las diversas alternativas de manejo sostenible de drenaje urbano aplicables a las condiciones de una ciudad con la finalidad de controlar los caudales pico. Específicamente, define a la expansión urbana, la limitada capacidad hidráulica de los drenajes y la falta de control de la contaminación a mediano y largo plazo como la causa principal de problemas en un drenaje y entorno natural. Por lo tanto, es necesario establecer normas que garanticen un buen control del nivel de contaminación. Igualmente, la inversión en educación y cultura ciudadana busca la aplicación de alternativas para el manejo, mantenimiento y limpieza de canalizaciones, y la disminución del riesgo relacionado con las inundaciones. El cuidado de un sistema de drenaje de una ciudad debe ser desde el momento en que el agua toca el suelo hasta el cuerpo receptor. Es decir, el alcantarillado pluvial no es todo el sistema, sino un componente del sistema de drenaje pluvial. También se plantea la recuperación e incremento de zonas permeables en las zonas urbanas como jardines y patios, con el fin de conseguir aminorar el volumen de escorrentía para eventos pequeños.

E. Castillo Altamirano, “Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la Carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará – Amazonas”, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1511>

En esta tesis, el estudio y el diseño de los distintos elementos que integran la red de drenaje, se basa en dos vertientes: Una evaluación hidrológica de la demarcación de

colocación del proyecto apoyada en los padrones históricos disponibles de estaciones pluviométricas más próximas y una evaluación hidráulica con la finalidad de precisar las secciones que avalen el conveniente desalojo del flujo circulante.

Los cálculos se sustentan en dos bases científicas: Fórmulas de Manning y Método Racional. Al final, se evalúa detalladamente la congruencia en los resultados adquiridos con respecto a las guías y los parámetros concretados para el diseño existente concluyendo que la pendiente y el diámetro de todas las alcantarillas son el problema primordial de sedimentación, además, el reducido diámetro imposibilita una adecuada limpieza.

M. Chavarria Jaramillo, "Evaluación de las estructuras de drenaje superficial de la carretera Paria-Wilcahuain-Yanacancha km 8+500 al km 11+770", Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaráz, Perú, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1186/T%20247%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

En esta tesis, la problemática radica en que las estructuras de drenaje superficial en la carretera Paria - Wilcahuain - Yanacancha colapsan cuando se presentan fuertes precipitaciones. La metodología empleada se realizó en 2 fases: de campo y de gabinete. En la fase de campo se hizo la inspección de la zona en estudio y se tomó datos de las características topográficas, estado físico e hidráulico de las estructuras de drenaje superficial. En la etapa de gabinete se efectuó la delimitación de las áreas aportantes al drenaje superficial de la carretera, cálculo de las áreas de aporte, longitud y pendiente de los cauces principales. También, se realizó el estudio hidrológico para la definición de los caudales de diseño. En el estudio hidráulico se dimensionaron las estructuras de drenaje en base al caudal de diseño de las alcantarillas, badenes y cunetas empleando las fórmulas de Manning. Finalmente, la investigación otorga propuestas de solución, determinando que las alcantarillas de mampostería sean cambiadas a alcantarillas de concreto y que se debe redimensionar algunas cunetas e implementar alcantarillas de alivio en algunos puntos de la zona en estudio.

J. Noriega Dávila, "Diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Calzada", Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú, 2002. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/368/TCIV_79.pdf?sequence=1&isAllowed=y

En el presente trabajo de tesis, se plantea el diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano, realizando inicialmente un levantamiento topográfico en la zona en estudio. El caudal de diseño preliminarmente se determinó usando el método racional, método de Mac Math y del triángulo unitario, sin embargo, se optó finalmente por el último método en función del tiempo de concentración de cada área colectora, las áreas tributarias y la intensidad de diseño correspondiente a un determinado periodo de retorno. Con el caudal de diseño, pendiente, y rugosidad se calculó las secciones de cada tramo de colector, los que hacen su entrega final en cauces naturales existentes, que drenan hacia zonas bajas de la ciudad. Finalmente, se concluyó que se construirán cunetas, sumideros, colectores y buzones en la zona en estudio, para garantizar la captación, conducción, eliminación de las aguas pluviales y por consecuencia, la mejora urbanística de la ciudad.

2.2. Bases Teórico Científicas

2.2.1. Topografía

Según Alcántara [3], es una ciencia aplicada cuya función es señalar y precisar las posiciones relativas o absolutas de los puntos en la Tierra y de este modo poder lograr su representación en un plano de un fragmento definido de la superficie terrestre y a una escala especificada. Esta ciencia se emplea en la realización de diversas obras de ingeniería. En la práctica de la topografía es fundamental tener conocimientos de matemáticas, así como una instrucción sobre el uso de instrumentos topográficos para efectuar mediciones.

2.2.1.1. Modelo Topográfico Digital

Según Cebrián y Mark [4], el concepto de Modelo Topográfico Digital se define como una representación en sostenimiento informático digital de una superficie topográfica. Estos trabajos otorgan una extensa serie de aplicaciones en escenarios civiles. A partir de levantamientos

topográficos o a través de procedimientos fotogramétricos, estos trabajos proporcionan datos para los análisis de las formas de relieve, análisis de pendientes, la delimitación automática de cuencas fluviales y la obtención de propiedades de una red de drenaje. La utilidad de modelos topográficos se puede clasificar en dos grandes labores: recopilación de datos y depuración de los mismos, siendo la fase más importante: la recopilación de datos.

Los modelos topográficos digitales son el resultado de diversos procesos de interpolación a partir de las altitudes de una serie de puntos muestrales. Estas altitudes se pueden haber medido en un mapa, en un estereomodelo o directamente en el terreno. Existen en la actualidad diversas formas genéricas de digitalizar curvas de nivel, las cuales representan las altitudes presentes en el terreno de estudio, siendo la más precisa, aquellas formas en las cuales se emplea algún software de por medio.

2.2.2. Hidrología

Según Villón [5], la hidrología es la ciencia dedicada al estudio del agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus características químicas y físicas y su relación con el medio ambiente.

Esta ciencia proporciona métodos para poder solucionar diversos problemas prácticos que aparecen en el diseño, programación y operación de proyectos hidráulicos.

Entre los problemas más comunes que ayuda a resolver la hidrología, se tiene: Determinar la capacidad de diseño de obras de drenaje, presas, puentes, vertederos, alcantarillas, definir si el volumen aportado por una determinada corriente es eficiente para el suministro de agua potable a una población y fijar la demanda de un proyecto de irrigación.

2.2.2.1. Cuenca Hidrológica

Según Villón [5], la cuenca de drenaje de una corriente viene a ser el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se combinan para consolidar un único curso de agua. Cada curso de agua

posee una cuenca delimitada, para cada uno de los puntos que pertenecen a su recorrido.

La delimitación de una determinada cuenca se efectúa sobre algún plano o mapa que posea curvas de nivel. Una cuenca posee diversos parámetros que la caracterizan, como: Área, clasificación, perímetro, cota máxima y mínima, longitud de cauce principal, factor de forma, pendiente del cauce principal e índice de Gravelius.

Para realizar cálculos hidrológicos correctos y eficientes se requiere de gran cantidad de información y debe enfocarse con mucha atención en la determinada cuenca en estudio. Además, es indispensable para diseñar cualquier tipo de infraestructura sin que los recursos de agua se vean perjudicados.

Clasificación de Cuenca

Existen diversas clasificaciones de cuencas, pero las principales son: Por su tamaño y por la dirección de evacuación de sus aguas [5].

La principal clasificación es por su tamaño y puede ser:

- **Cuenca grande:** Es una cuenca donde prevalecen las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Se denomina cuenca grande cuando supera los 250 km².
- **Cuenca pequeña:** las cuales contestan a una fuerte intensidad y corta duración y donde las características físicas de la cuenca son más predominantes y fundamentales que las características del cauce. Se considera cuenca pequeña cuando esta posee menos de 250 km² de superficie.

Las cuencas se estudian dependiendo del tipo de cuenca que se tiene, cada tipo de cuenca posee sus propios criterios de evaluación. En el caso de una cuenca pequeña, la forma y cantidad de escurrimiento están afectadas predominantemente por las características físicas del suelo. Mientras que, en una cuenca grande el resultado de almacenamiento del cauce es bastante importante.

Área de Cuenca

Es el territorio o superficie trazada en proyección horizontal de toda el área de drenaje de una cuenca, siendo este un componente geomorfológico fundamental ya que predomina de manera directa en la cantidad de agua que la cuenca llega a generar y por consecuencia, en el nivel de los caudales de los cursos de agua [5].

Es posible señalar la proyección horizontal directamente de un plano topográfico con la cooperación de ciertos métodos informáticos de medición, tales como AutoCAD Civil o Raster.

Perímetro de la Cuenca

Alude al margen de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, mayormente es de forma irregular y se consigue seguidamente de la delimitación de la cuenca. Debido a que muchas cuencas poseen forma completamente irregular, el perímetro no se puede calcular con simples fórmulas geométricas [5]. Por lo tanto, podemos hallar el perímetro con ayuda de diversos softwares relacionados a la ingeniería de los recursos hídricos.

Cota máxima y mínima de cuenca

Altura mayor y menor en el interior del área de la cuenca en estudio. Se obtienen fácilmente a través de las curvas de nivel, las cuales indican la altura correspondiente de cada punto.

Pendiente de Cuenca

Es un parámetro primordial en el estudio de cualquier cuenca, posee una completa relación con la infiltración, escorrentía superficial y humedad de suelo. Además, es un factor que establece el tiempo de concentración que tiene la lluvia en cualquier tipo de canal de drenaje. Para poder hallar la pendiente de una cuenca, existen muchas formas y muchos criterios establecidos [5].

Para este trabajo, se ha considerado el criterio del rectángulo equivalente:

$$S = H/L$$

Donde:

S : Pendiente de la cuenca (m/m)

H : Desnivel, cota en la zona más alta - cota en la estación de aforo (km)

L : Lado mayor del rectángulo equivalente (km)

$$L = \frac{K}{1.12} \sqrt{A} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right)$$

Donde:

L : Lado mayor del rectángulo equivalente (km)

K : Índice de Gravelius

A : Área de cuenca (km²)

Índice de Gravelius

Se trata de la división que hay entre el perímetro de la cuenca con respecto al perímetro de un círculo de la misma área correspondiente. Kc es un coeficiente adimensional y nos designa una idea de la forma que posee la cuenca [5].

Para hallar el Índice de Gravelius, se debe emplear la presente fórmula:

$$Kc = 0.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Donde:

Kc : Índice de Gravelius

P : Perímetro de cuenca (km)

A : Área de cuenca (km²)

Factor de Forma de una cuenca

Es la relación que tiene el ancho medio de la cuenca con la longitud más larga del curso de agua [5].

Se representa a través de la siguiente fórmula:

$$Ff = B/L$$

Donde:

F: Factor de Forma de una cuenca

B: Ancho de cuenca (km)

L: Longitud de curso más largo (km)

2.2.2.2. Evaluación de información hidrológica

Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [6], el Perú es un país que posee restricciones en la disponibilidad de datos hidrométricos y pluviométricos y la mayoría de las cuencas hidrográficas no están instrumentadas debidamente, por lo tanto, es común que se empleen métodos indirectos para el cálculo del caudal de diseño. En coherencia con la información disponible se debe escoger el método que se adapte de manera más adecuada para adquirir estimaciones de la magnitud del caudal.

La representatividad, calidad, cobertura y consistencia de los datos es fundamental para el comienzo del estudio hidrológico, es por ello, que es recomendable poseer un mínimo de años de registro de ciertos datos meteorológicos como las precipitaciones, que posibiliten desde esta información histórica el pronóstico de eventos futuros con el propósito que los resultados sean correctos.

Es de importancia señalar, que la precipitación, la cual es el dato primordial de la información hidrológica y pluviométrica, es el descenso de agua desde la atmósfera hasta la superficie terrestre. Esta concierne al ciclo del agua que sostiene el equilibrio y estipendio de ecosistemas.

Las precipitaciones son datos que otorga la estación meteorológica que se emplea en cada proyecto, considerando siempre la más próxima a la zona en estudio.

Período de Retorno

Según Villón [7], viene a ser el intervalo promedio de tiempo en años, en donde un evento de magnitud “x” puede ser igualado o sobrepasado por lo menos una vez en promedio. Por otra parte, Villón [8], también manifiesta la relación del periodo de retorno según el tipo de estructuras y en el caso de drenaje pluvial establece desde 2 a 10 años.

Según la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [9], el período de retorno (T) es una representación utilizada de manera habitual para introducir un concepto de la posibilidad de acontecimiento de un evento fijado en un periodo exacto; en el caso de este proyecto, al tratarse de una red de drenaje pluvial, se utiliza para designar la probabilidad de que se exteriorice una avenida con definido caudal o superior en un año indeterminado. Esta norma otorga datos recomendados para los periodos de retorno correspondientes según la magnitud del área en estudio para un drenaje pluvial urbano.

Tiempo de concentración

Se concreta como el tiempo mínimo requerido por una gota para circular desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. [6]. Se puede hallar de acuerdo a las fórmulas de Kirpich y de California Culverts Practice.

La fórmula de Kirpich está expresada de la siguiente manera:

$$T_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m)

S = Pendiente promedio de cuenca (m/m)

La fórmula de California Culverts Practice está formulada de la siguiente manera:

$$T_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del curso de agua más largo (m)

H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)

2.2.2.3. Análisis estadístico de datos hidrológicos

Según Villón [7], para un estudio hidrológico generalmente se contará con un registro de datos hidrometeorológicos disponibles, ya sean precipitaciones, caudales, evapotranspiración, temperaturas u otros. Por ello, se debe escoger un modelo probabilístico a emplear, que represente correctamente el comportamiento de la variable.

Según Ven Te Chow, David Maidment y Larry Mays [10], la probabilidad de un evento, es la posibilidad de que este ocurra cuando se hace una observación de la variable aleatoria.

Si se necesita obtener resultados estadísticos a partir de series de datos de precipitaciones, es fundamental tener series históricas de más de 20 o 30 valores, mientras mayor sea nuestra serie de datos, mayor será la confiabilidad de los resultados estadísticos.

El análisis de frecuencias posee el fin de calcular precipitaciones, intensidades o caudales máximos, dependiendo de cuál se esté analizando, para diversos períodos de retorno, a través de la aplicación de modelos probabilísticos, de clasificación discreta o continua.

Por otro lado, para el cálculo de la precipitación media máxima diaria se debe tener la desviación estándar y la media muestral de la recopilación de datos en estudio en función al periodo de retorno.

La media muestral está dada por la siguiente fórmula:

$$Media (X) = \sum_{i=1}^N Xi/N$$

Donde:

Xi : Precipitación máxima diaria

N : Número de datos de precipitaciones

La desviación estándar está dada por la siguiente fórmula:

$$Desviación Estándar = \sqrt{\frac{\sum_i^N (Xi - X)^2}{N - 1}}$$

Donde:

Xi : Precipitación máxima diaria

X : Media muestral

N : Número de datos de precipitaciones

También es necesario hallar los parámetros estadísticos α y u dados.

El parámetro α está dado por la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} * Sx}{\Pi}$$

Donde:

Sx : Desviación estándar

El parámetro u está dado por la siguiente fórmula:

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

Donde:

\bar{x} : Media muestral

En la estadística se tiene varias funciones de distribución de probabilidad teóricas, sin embargo, en el caso de este proyecto se ha empleado la Distribución probabilística por el método de Gumbel.

La cual contiene la siguiente fórmula:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Empleando el método de momentos, resultan las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α : Parámetro de concentración

β : Parámetro de localización

2.2.2.4. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Vahrson Wilhelm y Alfaro Marvin, citados por Villón [5], desarrollaron un estudio sobre las intensidades máximas donde relacionaban la intensidad máxima, duración y periodo de retorno mediante tablas y gráficos. Esta investigación permitió la realización de las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.

Estas curvas son un componente de diseño que enlaza la intensidad de lluvia, duración de esta y la frecuencia con la que puede aparecer, en otras palabras, su probabilidad de ocurrencia o también llamado periodo de retorno. Para definir estas curvas IDF se precisa poseer registros pluviográficos de lluvia en el lugar del proyecto en estudio y escoger la lluvia de mayor intensidad de diferentes duraciones en cada año, con el propósito de ejecutar un estudio de frecuencia con cada serie configurada.

Cada serie obedece a un análisis de asiduidad, coaligando modelos probabilísticas, en este caso, se empleó el método de Gumbel. Así se obtiene una consignación de probabilidad para la intensidad de lluvia respectiva a cada duración, la cual se simboliza en un gráfico único de intensidad vs. duración, conteniendo como parámetro el período de retorno. En el Perú, a causa de la insuficiente cantidad de información

pluviográfica, comúnmente solo se computa con lluvias máximas en 24 horas, es por ello que el valor de la intensidad de la precipitación pluvial máxima se calcula desde la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración ya establecido en el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje [6].

Tabla N° 01: Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS	COEFICIENTE
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.5
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC 2018

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado de manera indirecta, a través de la relación siguiente:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n: Factores característicos de la zona de estudio

T: Período de retorno (años)

t: Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

2.2.2.5. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia es la tasa temporal de precipitación, en otras palabras, es la profundidad por la unidad de tiempo (mm/h). Se pueden realizar los cálculos del área de estudio con la intensidad momentánea o la intensidad media sobre la duración de la lluvia.

La intensidad de la lluvia de diseño para un punto de una red de drenaje en estudio viene a ser la intensidad promedio de una lluvia donde la duración es exactamente la misma al tiempo de concentración del área que se alcanza a drenar hasta ese punto, y donde el periodo de retorno es equivalente al del diseño de la obra de drenaje.

Cuando se da el caso, de que es necesario calcular la intensidad usando las curvas intensidad - duración - frecuencia utilizable a la zona urbana en estudio, se emplea una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y la frecuencia debe ser equivalente al periodo de retorno del diseño de la obra de drenaje [9].

2.2.2.6. Coeficiente de escorrentía

Es el coeficiente que representa a la porción de la lluvia que escurre superficialmente. La elección del valor numérico del coeficiente de escorrentía debe estar sostenido en la consideración de los efectos de: Las características de la superficie, clasificación de área urbana, intensidad de lluvia, pendiente del terreno o carácter futuro correspondiente al horizonte de vida del proyecto [9].

El diseñador también podrá considerar otros efectos que crea necesarios para el caso en estudio. El coeficiente de escorrentía para las áreas de drenaje que tienen características heterogéneas será calculado como un promedio ponderado de los distintos coeficientes que corresponden a cada clase de cubierta (techos, pavimentos, áreas verdes u otros), en donde el factor de ponderación es la fracción del área de cada tipo respecto al área total. A continuación, se presenta las tablas de escorrentía que pueden usarse de acuerdo al caso en estudio:

Tabla N° 02: Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el Método Racional

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
ÁREAS URBANAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / Techos	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
ÁREAS DE CULTIVOS							
Plano 0 – 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 – 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Mayor a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
PASTIZALES							
Plano 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Mayor a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
BOSQUES							
Plano 0 – 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 – 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente Mayor a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano

2.2.2.7. Caudal de máxima avenida

Según Sotelo [11], el flujo de volumen que se encuentra a través de una superficie es lo que conocemos genéricamente como caudal o gasto.

En el caso del caudal de máxima avenida, este se define como el mayor caudal asociado a una determinada lluvia de diseño. Para determinar este caudal correspondiente a la cuenca hidrográfica, se han empleado dos métodos: A través del cálculo de la altura de lámina de agua y volumen de agua y el método racional.

En el primer método, la altura de lámina de agua se calculó de la siguiente manera:

$$hp = I * tc$$

Donde:

hp: Altura de lámina de agua (mm)

I: Intensidad de diseño (mm/h)

tc: Tiempo de concentración (horas)

El volumen de agua se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$V = hp * A$$

Donde:

V: Volumen de agua (m³)

hp: Altura de lámina de agua (m)

A: Área de cuenca (m²)

Finalmente, el caudal se determina a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{tc}$$

Donde:

Q: Caudal máximo de diseño (m³/s)

V: Volumen de agua (m³)

tc: Tiempo de concentración (horas)

Por otra parte, con respecto al método racional, se puede emplear sólo en pequeñas cuencas de drenaje que no sobrepasen los 13 km² y además considera la regularidad de la intensidad y el coeficiente de escorrentía en cualquier parte de la cuenca en estudio [9].

El caudal pico otorgado por el método racional está expresado por la fórmula:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

Q : Caudal máximo de diseño (m³/s)

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (km²)

2.2.3. Consideraciones de Cálculos Hidráulicos

La hidráulica es la rama de la física encargada de estudiar el comportamiento de los líquidos de acuerdo a sus propiedades específicas. Por lo tanto, analiza las propiedades mecánicas de los líquidos de acuerdo a las fuerzas que están sometidos.

Los cálculos hidráulicos introducen el análisis del funcionamiento hidráulico del conjunto de conducciones con el propósito de verificar que los diámetros y pendientes propuestos sean eficientes para transportar el caudal de diseño en cada sector o tramo. También, se debe tomar en cuenta diversas consideraciones y restricciones que permitan minimizar los costos de construcción y prever las fallas estructurales y los trabajos de exagerado mantenimiento. El dimensionamiento de las conducciones primordialmente está relacionado al tamaño del área por servir, coeficiente de escorrentía y caudal o gasto de diseño.

Entre las variables hidráulicas más significativas para el diseño de sistemas de drenaje pluvial se encuentran la velocidad media del flujo, caudal o gasto, tirante del flujo a superficie libre y a presión en conductos [12].

Estos cálculos permiten la realización del análisis de la capacidad actual del sistema de drenaje pluvial en estudio.

2.2.3.1. Conducción a superficie libre

En una conducción a superficie libre el flujo se desplaza, primordialmente, por la acción de la fuerza de gravedad y su principal característica es que se ve expuesto a una superficie libre a la presión atmosférica. [12].

El movimiento de un flujo a superficie libre se ve afectado por:

- La fuerza de gravedad, como la de mayor importancia en el movimiento.
- La fuerza de resistencia producida en las fronteras rígidas por la fricción.
- La fuerza causada por la presión que se ejerce sobre las fronteras del canal, específicamente en las zonas donde existe cambio de geometría.
- La fuerza por la viscosidad del líquido, en el caso de tener flujo turbulento, esta fuerza no es importante.
- La fuerza de tensión superficial, debido a la superficie libre.

La superficie libre se define como la intercara entre dos fluidos: el superior, que es el aire estacionario o en movimiento, y el inferior, que suele ser agua en movimiento.

La clasificación de conducciones a superficie libre de acuerdo a su origen, pueden ser naturales o artificiales.

Las conducciones naturales son aquellas depresiones de drenaje que existen, como: arroyos, ríos o estuarios.

Por otra parte, los conductos artificiales suelen tener secciones geométricas con forma y dimensiones constantes.

El cálculo del flujo uniforme es de interés en dos circunstancias:

- Revisión: Cuando conocemos la geometría y material del canal, y así poder precisar los parámetros hidráulicos del flujo con determinado caudal o tirante.
- Diseño: Con ciertos parámetros hidráulicos, para después deducir alguna condición geométrica del canal.

2.2.3.2. Determinación de la sección transversal

Los conductos artificiales comúnmente son diseñados con secciones de figuras geométricas regulares. La elección de la forma obedece al tipo de conducción que se construirá, siendo la trapezoidal muy común para conducciones a superficie libre, pues puede o no llevar revestimiento; por otro lado, la sección rectangular puede escogerse, si los revestimientos laterales son muy estables, es decir son de concreto o mampostería; en el caso de la triangular se emplea comúnmente en cunetas de carreteras. Finalmente, el perfil herradura y circular es conveniente en el caso de alcantarillas, colectores y túneles. También existen formas compuestas de las mencionadas anteriormente que son de mucha utilidad en conductos abovedados, como alcantarillas grandes y emisores, donde sus dimensiones consiguen el paso de una persona en su interior [12].

Los elementos geométricos de mayor importancia de una sección se detallan a continuación:

- **Profundidad:** Es la distancia vertical medida desde la superficie libre hasta el punto más bajo de la sección.
- **Ancho de la superficie libre o Espejo de agua:** Es el ancho de la sección, medida al nivel de la superficie libre.

En el caso de secciones rectangulares:

$$T = b$$

Donde:

T : Ancho de la superficie libre o Espejo de agua (m)

b : Ancho de la sección medida al nivel de la base (m)

En el caso de secciones transversales en forma de triángulo rectángulo:

$$T = z * y$$

Donde:

T : Ancho de la superficie libre o Espejo de agua (m)

z : Talud

y : Tirante medio o hidráulico (m)

- **Área hidráulica:** Se conceptualiza como el área ocupada por el flujo en la sección.

En el caso de secciones rectangulares:

$$A = b * y$$

Donde:

A : Área ocupada por el flujo en la sección (m²)

b : Ancho de la sección medida al nivel de la base (m)

y : Tirante medio o hidráulico (m)

En el caso de secciones transversales en forma de triángulo rectángulo, se tiene:

$$A = (z * y^2)/2$$

Donde:

A : Área ocupada por el flujo en la sección (m²)

z : Talud

y : Tirante medio o hidráulico (m)

- **Perímetro mojado:** Es la longitud de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal, sin incluir a la superficie libre.

En el caso de secciones rectangulares:

$$P = b + (2 * y)$$

Donde:

P : Perímetro mojado (m)

b : Ancho de la sección medida al nivel de la base (m)

y : Tirante medio o hidráulico (m)

- **Radio hidráulico:** Se obtiene de la división entre el área hidráulica y el perímetro mojado. Está dado por la siguiente fórmula:

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde:

R : Radio hidráulico de la sección (m)

A : Área hidráulica (m²)

P : Perímetro mojado (m)

- **Tirante medio o tirante hidráulico:** Se trata de la distancia medida desde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre del agua. Se expresa como la relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre.

$$y = \frac{A}{T}$$

Donde:

y : Tirante medio o hidráulico (m)

A : Área hidráulica (m²)

T : Ancho de la superficie libre o Espejo de agua (m)

- **Talud:** Es la inclinación de las paredes de la sección. Se representa con la letra z .

2.2.3.3. Características del flujo

El reconocimiento del tipo de flujo en una conducción es primordial, ya que las ecuaciones de diseño solamente se pueden aplicar a determinadas condiciones del flujo o han sido definidas para casos en específico [12].

Para la clasificación del flujo de agua en una conducción, los elementos que se deben considerar son:

a) Funcionamiento del conducto: Una red de drenaje pluvial puede conformarse de conductos abiertos, cauces naturales y conductos cerrados. El flujo del agua en los conductos abiertos y cauces naturales

puede darse solamente con superficie libre; por lo tanto, en los conductos cerrados el flujo del agua puede darse con superficie libre o a presión. En todos los casos, para el diseño de una red de drenaje es recomendable que los conductos cerrados o tuberías funcionen con superficie libre como si fuesen canales. Por otra parte, es recomendable que los conductos no funcionen a presión, pues se puede llegar a causar que el agua fugue del sistema y surja en las calles provocando inundaciones y perjuicios.

- b) Tiempo:** Cuando los tirantes, velocidades y caudales del flujo, pertenecientes a una sección transversal de la canalización, son constantes en relación al tiempo, el flujo se considera permanente. Si es contrario, se le denomina no permanente.
- c) Distancia:** En el caso que un flujo, los tirantes, las velocidades y los caudales en una sección transversal a lo largo del canal sean iguales, el flujo será uniforme. De manera contrario, es no uniforme o variado.
- d) Nivel de energía:** El flujo del agua con superficie libre puede ser tipificado según el nivel de energía contemplado en el mismo flujo. De esta manera, pueden definirse tres tipos de flujo: subcrítico, crítico o supercrítico. Para definir este parámetro, se emplea el número de Froude, el cual está representado por la presente fórmula:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * \left(\frac{A}{T}\right)}}$$

Donde:

Fr : Número de Froude (adimensional)

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

V : Velocidad media en la sección (m/s)

A : Área hidráulica (m^2)

T : Ancho de la superficie libre o Espejo de agua (m)

La ecuación representa la relación entre las fuerzas por inercia y gravedad. Si ambas fuerzas resultan ser iguales, $Fr = 1$, el flujo se denomina crítico. Cuando las fuerzas causadas por la inercia del flujo sean mayores ($Fr > 1$) el flujo se define como supercrítico, y si las fuerzas por gravedad son predominantes ($Fr < 1$) el flujo se considera subcrítico.

2.2.3.4. Ecuaciones Fundamentales para Diseño

Las ecuaciones fundamentales de la hidráulica aplicada al diseño de sistemas de drenaje pluvial parten de los principios esenciales de conservación de masa, cantidad de movimiento y energía atribuidos a un volumen de control, originando a las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía, respectivamente. Estas ecuaciones tienen formas comunes y generales que pueden sintetizarse de acuerdo al tipo de flujo o fenómeno que se requiere estudiar. La utilización determinada de uno o varios de los principios de conservación en un proyecto concreto consigue determinar una ecuación cuya solución en un instante otorga la representación de las condiciones del flujo y evalúa las variables de interés relativas al flujo [12].

La cantidad de agua en el volumen de control, tanto la que ingresa o como la que desemboca del mismo puede calcularse en unidades de volumen (m^3) por unidad de tiempo, kg/s, N/s o m^3/s , por lo tanto, se da origen a la conceptualización de caudal o gasto (Q), término bastante común en la práctica.

Si tomamos de manera específica, el caso de la capacidad de las cunetas, las cuales son un componente primordial en un drenaje pluvial, están obedecen a una sección transversal, pendiente y rugosidad del material con que se elaboren. La capacidad de conducción para cualquier sección transversal en general se realizará empleando la Ecuación de Manning, la cual es:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

A : Área de la sección (m^2)

R : Radio hidráulico (m)

S : Pendiente (m/m)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

De manera específica, en el caso de secciones rectangulares, el caudal se halla con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{A^{5/3}}{n * P^{2/3}} * S^{1/2}$$

Donde:

Q : Gasto (m^3/s)

A : Área hidráulica (m^2)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

P : Perímetro mojado (m)

S : Pendiente (m/m)

Para el caso de secciones transversales en forma de triángulo rectángulo, el caudal se debe hallar con la siguiente fórmula:

$$Q = 315 \frac{z}{n} * S^{1/2} * Y^3 * \left(\frac{z}{1 + \sqrt{1 + z^2}} \right)^{2/3}$$

Donde:

Q : Gasto (m^3/s)

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

Y : Tirante hidráulico (m)

S : Pendiente Longitudinal del Canal (m/m)

z : Talud (1: z)

Con respecto al coeficiente de rugosidad, el cual es uno de los parámetros que define la capacidad de la cuneta, existe una tabla donde se señalan los valores reglamentados del coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo a los diversos acabados de los materiales de las cunetas de las calles y berma central.

Tabla N° 03: Coeficiente de rugosidad de Manning (N)

Cunetas de las Calles	Coeficiente de Rugosidad
a. Cuneta de Concreto con acabado paleteado	0.012
b. Pavimento Asfáltico	
1) Textura Lisa	0.013
2) Textura Rugosa	0.016
c. Cuneta de concreto con Pavimento Asfáltico	
1) Liso	0.013
2) Rugoso	0.015
d. Pavimento de Concreto	
1) Acabado con llano de madera	0.014
2) Acabado escobillado	0.016
e. Ladrillo	0.016
f. Cunetas con pendiente pequeña, donde el sedimento puede acumularse.	0.002

Fuente: Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano

Por otra parte, la velocidad también es un parámetro primordial en el diseño de los componentes de la red pluvial. Este parámetro puede ser cuantificado en una sección transversal de un flujo si se conoce el caudal o gasto y el área hidráulica, pues su división es justamente igual a la velocidad.

La velocidad está representada de manera genérica por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V: Velocidad media del flujo (m/s)

Q: Gasto o caudal (m³/s)

A: Área hidráulica (m²)

Sin embargo, es necesario recalcar, que la velocidad es un parámetro con un límite admisible establecido de acuerdo al tipo de superficie:

Tabla N° 04: Velocidades Límites Admisibles

Tipo de Superficie	Velocidad Límite Admisible (m/s)
Arena fina o limo	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 -1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50
Concreto	4.60 – 6.00

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC 2018

2.2.4. Red de Drenaje Pluvial

Una red de drenaje pluvial tiene como finalidad primordial la gestión, control y conducción de las aguas pluviales eludiendo con ello su acumulación, estancamiento o retención. De esta manera se amortigua con determinado nivel de seguridad la generación de molestias por inundación y perjuicios materiales y humanos. Está constituida por diversos conductos, estructuras de captación y estructuras complementarias [13].

Cabe mencionar como concepto, que una inundación es la ocupación por parte del agua en zonas que usualmente están libres de esta. Los desbordamientos de ríos, lluvias de alta intensidad, deshielo, desastres naturales, entre otros, son las causas más comunes de inundaciones.

2.2.4.1. Estructuras de Captación

Son estructuras cuya función es la recolección de las aguas a transportar, en el caso de sistemas de alcantarillado pluvial urbano se pueden emplear cunetas o sumideros como estructuras de captación, pero también pueden existir conexiones domiciliarias que sirvan para captar el agua de lluvia que llega a caer en techos y patios. En todos estos tipos de captaciones es recomendable colocar una rejilla que impida la entrada de objetos que obstaculicen los conductos [13].

Cunetas

Una cuneta es una zanja o canal que se abre a los lados de las vías terrestres de comunicación, como autopistas, caminos o carreteras. Su función es captar y recibir las aguas pluviales, para conducir las a un lugar donde no provoquen daños o inundaciones.

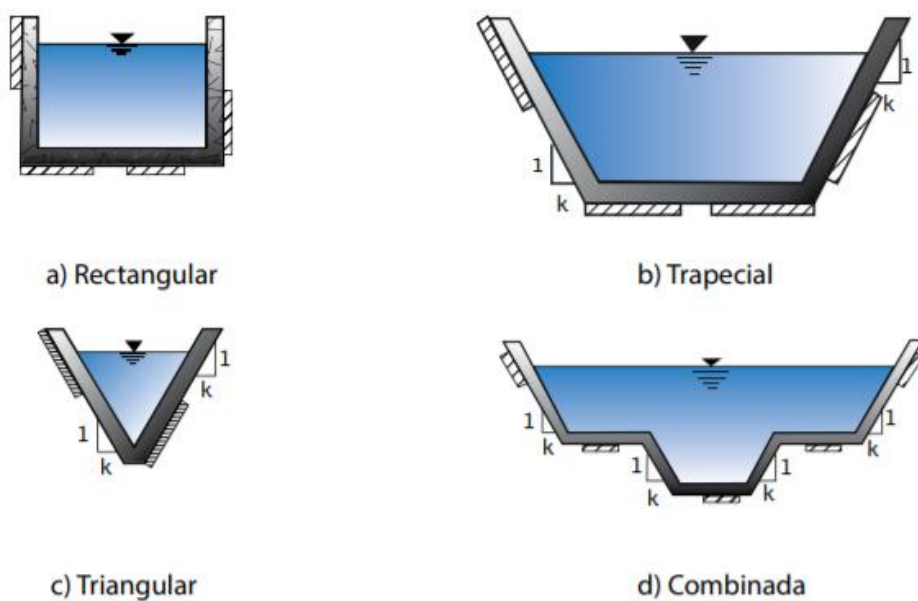
Cuando las cunetas forman parte de un drenaje pluvial urbano, van colocadas específicamente en las calles con la finalidad de interrumpir el flujo superficial. Al ser zanjas que presentan un nivel inferior al resto de la calzada, el agua de la lluvia se almacena en la cuneta. También, por su diseño, la cuneta es capaz de direccionar dicha agua a una zona segura. En otros términos, la cuneta es el ángulo que se origina por la diferencia entre el nivel de la acera y la calzada. Esa diferencia provoca que el agua

de las precipitaciones se acumule allí, y no sobre la calzada en la cual circulan los vehículos.

Dimensiones de la Sección Transversal

Las dimensiones mínimas reglamentadas, mayoritariamente dependen del caudal de diseño que se requiera alcanzar y de la ubicación de estas. Sin embargo, sí existen tipos de secciones determinadas por la NORMA OS.060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda. Las cunetas construidas para este tipo de drenaje deben tener las siguientes secciones transversales: Sección circular, triangular, trapezoidal, compuesta y en v.

Figura N° 01: Sección Transversal de cunetas



Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Drenaje Pluvial Urbano

Revestimiento

Es común que el revestimiento de las cunetas sea de piedra en seco, mampostería (piedra embebida en concreto o mortero) o concreto.

Este revestimiento protege a las cunetas de impactos negativos debido a velocidades altas de flujo. Es recomendable usar una cubierta de concreto mínima de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 0.075m.

Mantenimiento

Es imprescindible que la cuneta permanezca limpia para que pueda realizar su función de manera eficiente. Si en la cuneta se almacena basura, el agua no será capaz de escurrir de manera adecuada. Por ello, es fundamental estatuir la exigencia de mantenimiento de cunetas como mínimo dos veces al año (anterior y posterior al período de lluvia, singularmente en zonas de sierra y selva del país).

Un programa de mantenimiento debe incluir inspecciones para cerciorar el estado hidráulico estructural de la obra y adquirir datos como: Acumulación de material, depósito de sedimentos o daños estructurales.

2.2.4.2. Estructuras de Conducción

Se refiere a todas las estructuras que conducen las aguas recolectadas por las estructuras de captación hasta el sitio de vertido o descarga. Pueden clasificarse según la importancia que tiene el conducto en el sistema de drenaje o según el material y método de construcción. De acuerdo a la importancia del conducto en relación a la red, los conductos pueden ser: atarjeas, subcolectores, colectores y emisores [13].

Se le denomina atarjeas o red de atarjeas a los conductos que tienen menor diámetro en la red, donde descargan la mayor parte de las estructuras de captación.

Los subcolectores son conductos que poseen mayor diámetro que las atarjeas y reciben de manera directa las contribuciones de dos o más atarjeas y las transportan hasta los colectores.

Los colectores son los conductos de mayor tamaño en la red y se consideran lo primordial del sistema de alcantarillado. La función principal de los colectores es compilar el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta el punto de salida de la red e inicio del

emisor. Después de ello, el emisor se encarga de transportar las aguas hasta el sistema de descarga o tratamiento

2.2.4.3. Estructuras de Conexión y Mantenimiento

Son estructuras subterráneas construidas hasta el nivel del suelo o pavimento, donde se les asigna una tapa. En la parte inferior poseen forma cilíndrica y en la parte superior tiene forma tronco cónico. Estas estructuras son bastante amplias, ya que deben permitir que una persona pueda bajar a ellas y ejecute diversos procedimientos en su interior, ya sea para realizar mantenimiento o para la inspección de los conductos [13].

Los pozos de visita o cajas de visita o registros son estructuras que posibilitan la inspección y aseo de los conductos de una red de alcantarillado, además concede la ventilación de los mismos.

Se les considera elementos vitales en un sistema de alcantarillado, pues sin ellas, se provocarían obstrucciones y una reparación podría ser dificultosa y poco económica. Para otorgar mantenimiento a la red, los pozos de visita o registros se emplazan al inicio de los colectores y en los puntos donde existe cambio de diámetro de tubería, dirección o pendiente.

2.2.4.4. Estructuras de Descarga

Se le conoce como estructura de descarga a la obra final del sistema de alcantarillado que garantiza una descarga continua a una corriente receptora. La corriente receptora puede ser un cauce natural o canal abierto, un embalse natural o artificial o incluso al océano [13].

Es indispensable confirmar la facultad de asimilación del cuerpo de agua receptor y que no se supere, es decir que el cuerpo receptor debe ser capaz de admitir la cantidad de descarga sin que se llegue a producir efectos adversos.

Las estructuras de descarga presentan la siguiente clasificación:

- Estructura de descarga con conducto cerrado

En el caso de que la conducción por el emisor de una red de alcantarillado sea entubada y se requiera verter las aguas a una corriente receptora que tenga determinada velocidad y dirección, se emplea una estructura que encauce la descarga directa a la corriente receptora y proteja al emisor de cualquier obstrucción.

- Estructura de descarga con canal abierto

Se basa en un canal abierto construido de mampostería, cuyo ancho se acrecienta de forma gradual hasta la corriente receptora.

2.2.4.5. Disposición Final

La disposición final de las aguas evacuadas por un sistema de alcantarillado no es una estructura que se considere parte del mismo, pero simboliza una fracción primordial del proyecto. Su valor se basa en que, si el destino de las aguas pluviales no se determina con anterioridad a la construcción del proyecto, entonces pueden llegar a causarse graves daños al medio ambiente o a la población aledaña a la zona de vertido.

La disposición final se conceptualiza como el destino que se le da al agua captada por una red pluvial. Generalmente, las aguas se vierten a una corriente natural que transporta y degrada los contaminantes del agua. De esta forma, un proyecto actual de alcantarillado pluvial puede ser muy compatible con el medio ambiente y ser grato para la población de acuerdo al uso que se le dé al agua pluvial [13].

Además, es imprescindible considerar las circunstancias de escasez de agua que sufren ciertas zonas del Perú y la aparición de avenidas inesperadas, por ello es necesario examinar la posibilidad de verter las aguas pluviales para la recarga de acuíferos, la adecuación de los cauces de las corrientes superficiales dentro de sus márgenes o zonas urbanas. Como disposiciones finales, incluso existen pequeños lagos artificiales o estanques que se construyen en parques públicos con finalidad ornamental.

2.2.5. Modelo digital de elevaciones

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura referente al nivel medio del mar, que posibilita la determinación de las formas del relieve y los elementos presentes en el mismo. Estos valores se incluyen en un archivo de tipo Raster, el cual se origina empleando equipo de cómputo y software especializados. Además, estos modelos tienen una cualidad esencial que es la exactitud de representación de las elevaciones [14].

Actualmente, los modelos digitales integran un medio para conseguir la representación del relieve muy versátil y útil ya que permiten conocer la conformación o morfología de un terreno, los elementos de origen antrópico y la vegetación presente. Además, es factible derivar u originar información a partir de datos de otros softwares relacionados con el estudio de relieves, trazados de perfiles topográficos, modelización de escorrentía del agua, cartografía de base, agricultura de precisión, gestión forestal, estudio de inundaciones, entre otros.

En resumen, un Modelo Digital de Elevaciones es una representación de la topografía de una determinada zona terrestre en una forma ajustada a su uso a través de un ordenador digital y con un campo de utilidad muy variado.

Se tienen dos clases de Modelos digitales de elevación:

- **Modelo Digital del Terreno:** Se conceptualiza como la modelización del terreno sin considerar las alturas de las infraestructuras humanas y la vegetación.
- **Modelo Digital de Superficie:** Es la modelización del terreno considerando todos los elementos que se presentan sobre el terreno, incluyendo vegetación, edificios, líneas eléctricas, entre otros.

2.2.6. Modelamiento Hidráulico

Según Rocha [15], un modelamiento físico o matemático es una representación simplificada de un aspecto de la naturaleza o de una obra construida en ella. Específicamente, en el caso de fenómenos hidráulicos, estos son una expresión del mundo natural y poseen un nivel de complejidad en el cual no es posible examinarlos y describirlos totalmente, sólo de manera parcial. Uno de los instrumentos más eficientes con los que se dispone para conocer y

entender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructuras se localiza en la investigación en modelamientos hidráulicos.

De forma simplificada podría decirse que un modelamiento hidráulico es una modelización fisicomatemática del flujo de agua que nos permite saber los valores que toman las variables hidráulicas a través de la resolución por diversos métodos y ecuaciones.

Los modelamientos se clasifican por ser unidimensionales o bidimensionales.

- Unidimensionales:

Estos modelos son comúnmente utilizados por su simplicidad, pueden ser una herramienta idónea para estudios en los cuales la evolución temporal no se considere un factor de importancia. Se fundamentan en esquemas numéricos simples pero eficientes que pueden tomar en cuenta cambios de régimen, cauces con geometrías complejas, probabilidades de inundación, entre otros. Estos modelamientos requieren de información topográfica e hidráulica, son recomendables para el modelamiento de ríos o canales.

- Bidimensionales:

Estos modelos utilizan ecuaciones matemáticas y físicas expresadas en dos dimensiones y los resultados son calculados en cada punto de la malla en el dominio de solución. Los modelos bidimensionales suelen resolverse a través del método de los elementos finitos. Poseen la desventaja de requerir un mayor tiempo de desarrollo del modelado, sin embargo, tienen la gran ventaja, de ser softwares muy precisos y realistas en sus resultados. Son capaces de modelar lo mismo que los softwares unidimensionales, pero de manera más puntual respecto al movimiento del flujo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

En concordancia al diseño de la investigación es Descriptiva, ya que se trata de una descripción y comprensión compleja de las condiciones presentes de la localidad en estudio, se recoge información de la zona respectiva del proyecto para realizar un análisis exhaustivo y se evalúa los componentes que serán puestos a prueba de acuerdo a las normas, leyes y manuales vigentes establecidos.

De acuerdo al fin que se persigue es Investigativa, porque hace referencia a un conjunto de problemas en un área específica de la ciencia y explica detalladamente lo que se sabe de ellos, lo que se debe hacer para resolverlos y lo que sus resultados designan.

Con respecto al nivel de investigación, es una Investigación no Experimental.

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación de la tesis es de tipo No experimental. Eso quiere decir que se fundamenta en la observación y luego se procede al correspondiente análisis de los datos observados.

3.3. Población, muestra, muestreo

En el caso de esta investigación, la población y muestra es la red de drenaje pluvial del distrito.

3.4. Criterios de selección

Los criterios de selección de la muestra no son de tipo estadístico ya que se toma como muestra un sistema existente.

Sin embargo, se emplearon únicamente datos estadísticos para hallar las precipitaciones máximas anuales, información que fue otorgada por el SENAMHI.

3.5. Operacionalización de variables

Variables		Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Índice
Variable Independiente	Variables Dependiente				
Caudal de máxima avenida	Inundaciones	Estudio Topográfico	Perfil Longitudinal	Estación Total	m
			Secciones Transversales	Estación Total	m
		Estudio Hidrológico	Precipitación	SENAMHI	mm
			Caudal máximo	Parámetros de cuenca	m ³ /s
		Modelamiento Hidráulico Bidimensional	Calado	Software Iber 2.5.2	m
	Sistema de drenaje pluvial	Estudio Hidráulico	Medición de caudales	Sectorización de caudal por precipitación.	Análisis y Comparación
				Ecuaciones de Manning y Froude.	
		Análisis descriptivo de componentes	Descripción del estado de los componentes del sistema.	Manuales y Normas	Análisis y Comparación

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. TÉCNICAS

3.6.1.1. Levantamiento Topográfico

Según Martín, Rosique y Segado [16], se define como tal al conjunto de las técnicas encargadas de realizar todas las mediciones necesarias en la zona de interés, tomando los datos de un terreno o superficie con los instrumentos correctos para después obtener una adecuada representación gráfica o plano. A través de un levantamiento topográfico se puede obtener las distancias horizontales y las diversas cotas de los elementos, para que después puedan ser plasmados en un plano a través de curvas de nivel, a escalas apropiadas para la interpretación del plano y para la correcta representación de alineamientos y de las dispersas estructuras que lo integran. Se emplea como instrumento de planificación para edificaciones y construcciones, ya que es empleado en diversos organismos, pues cualquier proyecto civil supone la realización de planos topográficos.

Esta técnica permitirá el acopio de los datos topográficos de la zona donde se encuentra el proyecto en estudio.

3.6.1.2. Estudio Hidrológico

El estudio hidrológico es clave para diseñar cualquier tipo de infraestructura sin que estas afecten a los recursos de agua, por ello en este estudio, se delimitará la cuenca hidrológica aportante de la zona empleando el software ArcGis y se hallará todos los datos correspondientes a ella.

El software ArcGIS puede delinear automáticamente una cuenca, a partir del modelo de elevación digital que se disponga. En este caso la palabra elevación acentúa el concepto de medición de altura referente a una data. Este término se emplea comúnmente para describir un arreglo rectangular o hexagonal de puntos con valores de elevación adquiridos por métodos fotogramétricos o cartográficos [17].

3.6.1.3. Estudio Hidráulico

Este estudio nos permite calcular el caudal por precipitación de lluvia que alberga cada calle y obtener los parámetros de diseño que tienen los elementos de la red de drenaje pluvial existente del distrito de Yauyucan.

3.6.1.4. Análisis descriptivo de componentes de red de drenaje pluvial

Es esencial realizar una descripción puntillosa de los componentes de la red pluvial existente, relacionando todos los datos obtenidos de los estudios anteriores para una correcta evaluación.

3.6.1.5. Modelamiento Bidimensional

Los modelamientos en softwares complementan y perfeccionan variados estudios realizados para el diseño o evaluación de un proyecto. En lo que respecta a hidráulica, los resultados son tan complejos que no es suficiente aplicar solamente métodos matemáticos, por lo tanto, es idóneo acudir a la utilización de modelamientos. El empleo simultáneo de ambas técnicas de investigación otorga buenos resultados, ya que se logra que el estudio de un proyecto en general obtenga datos más puntuales y se acerque más al comportamiento real del sistema o proyecto examinado para así otorgar propuestas de solución que sean precisas.

Se empleó el software Iber para la realización del modelamiento hidráulico del proyecto. Como concepto, Iber es un programa basado en un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente y de procesos en hidráulica. El campo de aplicación de este software comprende la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables y el flujo de marea en estuarios. Este programa realiza modelamientos bidimensionales de manera georreferenciada y otorgando parámetros y localizaciones exactas [18].

3.6.2. INSTRUMENTOS

- **Programas de cómputo**
 - AutoCAD
 - Civil 3D

- Google Earth
- SAS Planet
- ArcGIS
- Iber
- Microsoft Word, Excel y Power Point.

- **Topográficos**

- Estación Total
- Prisma y jalón
- Brújula
- GPS
- Eclímetro
- Wincha
- Estacas
- Libreta de campo
- Comba
- Pintura

3.7. Procedimientos

3.7.1. Estudio Topográfico

Este estudio permitió la representación gráfica de la superficie de la localidad de Yauyucan, con sus correspondientes formas y detalles.

Los trabajos desarrollados en este estudio incluyen el levantamiento topográfico total de la zona urbana del distrito a través del método de radiación. Para este procedimiento se necesitó una estación total TOPCON ES105, la cual posee un radio de trabajo de 300 metros, también se empleó un trípode, un GPS, dos jalones, un prisma, una wincha, esmalte y pincel.

Como trabajo de gabinete, se elaboraron los planos topográficos a escalas convenientes para la interpretación correcta de cada elemento.

3.7.2. Estudio Hidrológico

Este estudio contiene los parámetros de la cuenca que abarca al distrito de Yauyucan con el fin de obtener el caudal correspondiente a dicha cuenca.

Para hallar el área y perímetro de la cuenca Yauyucan, se ha empleado software ArcGIS, ya que es un completo sistema que emplea coordenadas precisas y delimita la cuenca correspondiente a la ubicación geográfica de la localidad. Para los demás parámetros de la cuenca se emplearon fórmulas hidrológicas sustentadas tanto en libros de hidrología citados en las bases teórico científicas y referenciados en la presente tesis, como de la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano, la cual es la única normativa vigente peruana que puntualiza acerca de temas hidrológicos para este tipo de proyectos.

Para hallar el valor del tiempo de concentración de la cuenca en horas, se emplearon dos fórmulas: Fórmula de Kirpich y California Culverts Practice.

La información hidrológica por utilizar en este estudio deberá ser otorgada por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), entidad encargada de las actividades hidrometeorológicas en el país.

La intensidad de diseño empleada se halló a través de las curvas de intensidad, duración y frecuencia, considerando un método estadístico logarítmico de Gumbel.

El caudal hidrológico se calculó a través de dos maneras: Hallando el volumen de agua y la altura de lámina de agua y también a través de la fórmula especificada por el método racional, el cual es un método aprobado y mencionado en la Norma OS060 de Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. En ambos cálculos se empleó el valor de la intensidad de diseño hallado en las curvas de intensidad, duración y frecuencia. El coeficiente de escorrentía aplicado en el método racional se consideró de acuerdo a lo establecido en dicha norma.

Además, se realizó el correspondiente Plano hidrológico en AutoCAD, señalando la cuenca correspondiente al distrito, las curvas de nivel de la cuenca y sus principales parámetros.

3.7.3. Estudio Hidráulico

En este estudio se ha hallado el caudal por precipitación de lluvia que debe evacuar cada calle mediante el método racional, considerado la intensidad de diseño y el coeficiente de escorrentía hallado del estudio hidrológico. Se han considerado anchos tributarios para cada calle y se ha tomado en cuenta la acumulación de caudal debido a la orientación de pendientes entre cada una de ellas.

La fórmula del método racional que permitió hallar el caudal por precipitación en cada calle se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q : Descarga máxima (m³/s)

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad (mm/h)

A : Área de la superficie (Ha)

Además, como se trata de una evaluación de un sistema existente, el estudio hidráulico nos permitió calcular los parámetros de diseño que tienen los componentes de la red de drenaje pluvial. Existen cuatro tipos de cunetas en la localidad, las cuales poseen las siguientes dimensiones:

- Cuneta triangular de 0.35 m de ancho, 0.35 m de altura y talud $z=1$.
- Cuneta cuadrada de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura.
- Cuneta triangular de 0.30 m de ancho, 0.15 m de altura y talud $z=2$.
- Cuneta rectangular de 0.35 m de ancho y 0.15 m de altura.

Específicamente, para las cunetas se hallaron los siguientes parámetros hidráulicos:

- Coeficiente de rugosidad (n): Es un valor que representa la resistencia de un flujo en un canal. El coeficiente de rugosidad de Manning, considerado en este estudio será un valor “ n ” de 0.014, correspondiente a cunetas de concreto de acabado con llano de madera.

- Área: Se halló el área de cada cuneta de acuerdo a la geometría que posee la sección transversal de cada una.
- Caudal de diseño: el caudal de diseño de cada cuneta cuadrada, rectangular y triangular se halló a través de las fórmulas de Manning.
- Velocidad de diseño: Este parámetro se halló en función al área y caudal de diseño obtenidos anteriormente. Es necesario recalcar que, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, la velocidad no debe excederse de 6 m/s en el caso de cunetas de concreto.
- Número de Froude: Se consideró este parámetro para definir a través de la fórmula de Froude si se tiene flujo subcrítico, crítico o supercrítico.

3.7.3.1. Análisis de la capacidad actual

En este análisis se ha realizado una comparación entre la capacidad que posee el elemento de la red de drenaje pluvial y el caudal por precipitación que debe llegar a albergar dicho elemento para una correcta eficiencia del sistema.

3.7.4. Análisis descriptivo de componentes de red de Drenaje Pluvial

Este procedimiento se realizó teniendo en cuenta la única normativa vigente de drenaje pluvial urbano: Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

3.7.5. Modelamiento Bidimensional en Iber

El modelamiento en Iber muestra las calles del distrito con su respectivo calado, el cual es la profundidad que alcanza el agua por cada zona de la localidad, por consecuencia, también nos muestra las zonas donde se concentra la mayor cantidad de agua y las zonas críticas inundables.

El programa Iber, a diferencia de muchos otros softwares, otorga muchas ventajas en este particular caso, ya que:

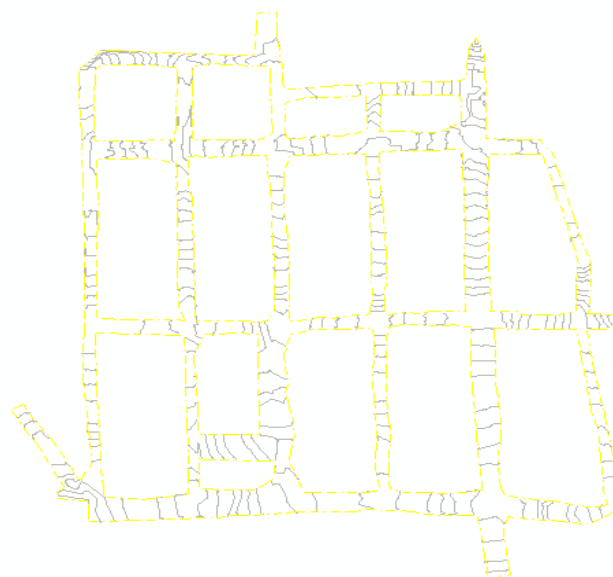
- Al tratarse de un modelo bidimensional, el movimiento del flujo se ve representado en dos direcciones, cuantificando las alteraciones en el flujo y representando de forma realista el movimiento del agua, siendo ideal para el estudio de proyectos hidráulicos en zonas urbanas.

- Tiene la ventaja de ser un programa rápido y minucioso, la cual posibilita su uso para proyectos con caudales pequeños.
- Posibilita la georreferenciación de cada punto del lugar en estudio de manera precisa, ya que permite archivos exportados a través de softwares con sistemas de Información Geográfica.
- Para la realización de los cálculos matemáticos emplea el método de volúmenes finitos en una determinada malla en estudio, lo cual es ideal en la mecánica de fluidos y por consecuencia, para proyectos hidráulicos.

El primer paso para la ejecución del modelamiento, es realizar el Modelo Digital de Elevaciones de la localidad en el software ArcGis, a través de la exportación de la malla topográfica del área del proyecto en estudio con curvas de nivel equidistantes cada un metro realizado en AutoCAD CIVIL 3D. Continuamente, se realizó la creación del TIN y Raster en el programa ArcGIS.

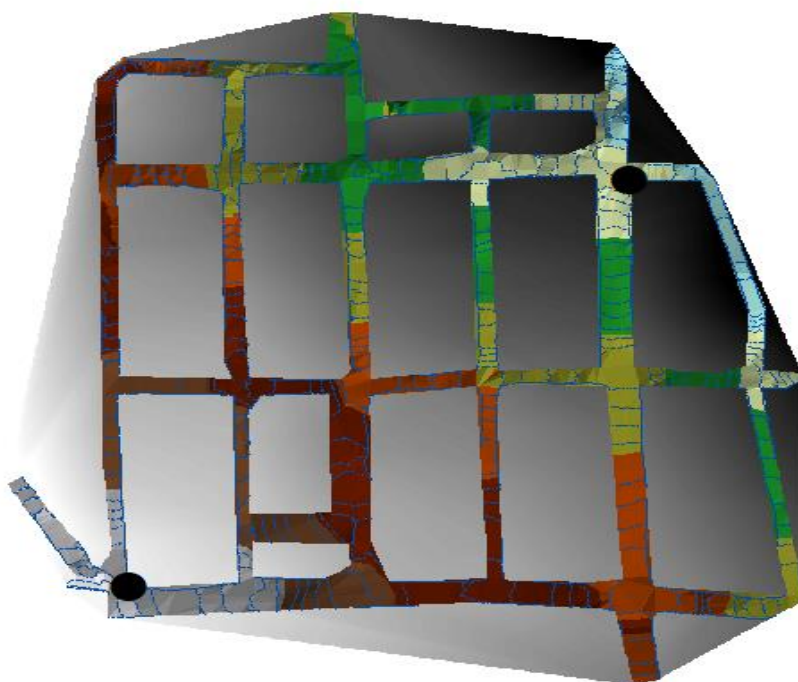
Como concepto, un TIN es una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se componen a través de la triangulación de un conjunto de vértices o puntos. Los vértices están enlazados a través de una serie de aristas para conformar una red de triángulos. Por otra parte, un Raster se conceptualiza como una matriz de celdas o píxeles estructuradas en filas y columnas en la que cada celda posee un valor con información de datos de la superficie terrestre.

Figura N° 02: Malla topográfica del área del proyecto en estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 03: Creación de TIN y Raster en Software ArcGIS



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 04: Modelo Digital de Elevaciones en ArcGIS



Fuente: Elaboración propia

También, se obtuvo la orto foto desde Google Earth y SAS Planet para la correcta georreferenciación de la zona en estudio y se ejecutó la creación del polígono en estudio, abarcando toda la superficie terrestre del distrito.

Figura N° 05: Orto Foto de Google Earth del Distrito de Yauyucan



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 06: Orto Foto de SAS Planet del Distrito de Yauyucan



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 07: Polígono en estudio en formato Shapefile – Programa ArcGIS



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a realizar la delimitación de cada subcuena en el programa ArcGIS empleando específicamente la herramienta HEC-GeoRAS y la extensión HEC-GeoHMS 10.5. Con los datos de intensidad de diseño y el tiempo de concentración hallado en el estudio hidrológico se halló el caudal aportante de cada una.

Tabla N° 05: Caudales de subcuenas del distrito de Yauyucan

Subcuena	Intensidad (mm/h)	Área (km ²)	Altura de Lámina de Agua (mm)	Volumen de Agua (m ³)	Caudal (m ³ /s)
N°01	57.97	0.08	9.66	795.66	1.33
N°02	57.97	0.04	9.66	413.98	0.69
N°03	57.97	0.05	9.66	440.88	0.73

Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso, se procedió a exportar el polígono en estudio mostrado en la Figura 14 en formato Shapefile desde el programa ArcGIS al programa Iber. Después, se aplicaron los caudales hallados anteriormente de cada subcuenca en las líneas de la superficie correspondiente a las entradas de flujo en la cuenca e indicando también la salida de flujo en cada una de ellas.

Culminado lo anterior se georreferenció el programa Iber con la orto foto obtenida del SAS Planet y se definió la rugosidad y tiempo e intervalos de simulación. El modelamiento en Iber se ha realizado para un período de 10 minutos, equivalente al tiempo de concentración obtenido del estudio hidrológico. Esto significa que se ha modelado para el tiempo mínimo necesario en el que todos los puntos de la cuenca Yauyucan estén aportando agua de escorrentía de modo simultáneo a los puntos de salida, lo cual es ideal para un modelamiento donde se deban apreciar las áreas de mayor estancamiento de agua existentes o inundables por caudal de lluvia.

Finalmente, se generó una malla estructurada cada 1 metro para el correcto análisis del programa y se efectuó la importación del modelo digital de elevaciones realizado en ArcGIS.

El modelamiento bidimensional hidráulico del proyecto en el programa Iber nos ha permitido observar las zonas precisas donde existen estancamientos de agua, tomando en cuenta la topografía de la zona y el caudal hidrológico de la cuenca. Además, este programa es hidrodinámico, ya que evalúa el movimiento del agua a través del tiempo.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos

FASE I: Recopilación de Información

Presentación formal y concertación con las autoridades locales competentes.

Visita a la zona del proyecto y recolección de información.

Identificación de la situación problemática de la zona de estudio.

Recolección de información bibliográfica y antecedentes del proyecto.

Revisión de la normativa vigente.

FASE II: Estudios Básicos

Levantamiento topográfico.

Elaboración de planos topográficos del área del proyecto.

Estudio hidrológico e hidráulico.

FASE III: Evaluación según normativa vigente

Análisis de capacidad actual del sistema.

Evaluación de los componentes de la Red de Drenaje Pluvial.

Evaluación del destino final de las aguas pluviales.

Modelamiento en software de la red de drenaje pluvial existente.

FASE IV: Conclusiones y recomendaciones

Propuestas de mejoramiento

Conclusiones y recomendaciones.

Elaboración final del proyecto.

3.9. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍAS
<p>¿Cuál es el estado actual de la Red de Drenaje Pluvial en el distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el Sistema de Drenaje Pluvial existente en el distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar un levantamiento topográfico de la zona. 	<p>La Red de Drenaje Pluvial en el distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca presenta deficiencias, por lo cual se generan problemas en la localidad.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Caudal de máxima avenida <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Inundaciones Sistema de Drenaje Pluvial 	<p>TIPO DE INVESTIGACION APLICADA</p> <p>Descriptiva - Investigativa.</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>Red de drenaje pluvial del distrito.</p>

	<ul style="list-style-type: none">• Elaborar un estudio hidrológico e hidráulico.• Realizar el análisis de la capacidad actual de la red de drenaje pluvial existente.• Describir el estado de la infraestructura pluvial existente.• Realizar el modelamiento en software de la red de drenaje pluvial existente.• Plantear alternativas concretas de solución para las deficiencias del drenaje pluvial existente.			
--	--	--	--	--

3.10. Consideraciones éticas

Conforme los principios científicos instituidos en la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y en relación al Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú, este estudio se desarrollará de acuerdo a los siguientes criterios:

El conocimiento producido se obtuvo de fórmulas matemáticas, físicas y bases científicas, sin la experimentación en especies que forman parte del medio ambiente.

El proyecto de evaluación de la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan, provincia de Santa Cruz y departamento de Cajamarca cuenta con el consentimiento informado y autorizado por la Municipalidad de Yauyucan.

Esta evaluación se relaciona de manera directa con la reducción de la contaminación en el medio ambiente, progreso social y económico y la mejora de la vida de todos los habitantes del distrito.

IV. RESULTADOS

4.1. Estudio Topográfico

4.1.1. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico se realizó en la zona urbana del distrito de Yauyucan, abarcando todas las calles, veredas y cunetas, levantando puntos por el método de radiación con la ayuda de un prisma (Ver anexo 3.11-3.19).

4.1.2. Trabajo de gabinete

4.1.2.1. Exportación de datos topográficos

Los trabajos en gabinete radican en la exportación de la data obtenida del levantamiento topográfico hacia el Software AutoCAD Civil 3D, para después crear una superficie a través de los puntos topográficos importados.

4.1.2.2. Procesamiento de datos topográficos

La correspondiente etapa procesa los puntos topográficos importados, teniendo en consideración los intervalos del nivel del terreno. De esta manera, se adquieren las curvas de nivel cada 1 metro de toda la superficie de la localidad. Además, se elaboraron los alineamientos horizontales de cada calle del distrito, para finalmente adquirir sus características geométricas en la creación del perfil longitudinal de cada una de ellas. Como efecto final de este estudio se hizo posible la elaboración del modelo topográfico digital y los siguientes planos que se detallan a continuación:

- Plano de Planta, perfil topográfico y secciones transversales: El plano de planta topográfica del distrito muestra la superficie total de la localidad con sus calles y curvas de nivel correspondientes. Los perfiles topográficos muestran las pendientes existentes por calle, kilometrajes de calles y las cotas de terreno y rasante. También, se muestran las secciones transversales de cada calle del distrito, con las dimensiones correspondientes de calzada, cuneta, vereda y descripción general del pavimento. Concisamente, se puede definir que la calle con mayor pendiente es San Francisco y la calle con menor pendiente es Manuel

Burga. Por otra parte, la calle que se encuentra en la zona de mayor altura de la localidad es El Maestro y la que se encuentra en la zona de menor altura es Magisterial. La calle que tiene mayor kilometraje es la Alborada y la de menor kilometraje es Yauyucan (Plano PP-01, PP-02, PP-03, PP-04, PP-05, PP-06, PP-07, PP-08, PP-09, PP-10, PP-11, PP-12).

- Plano Catastral: plano que muestra todas las calles del distrito. En total posee 12 calles, las cuales son: El Maestro, Manuel Burga, El Comercio, Cajamarca, La Alborada, Magisterial, Manuel Odría, Consolación, 19 de mayo, San Francisco, Belén y Yauyucan. La localidad cuenta con 21 Manzanas, incluyendo la Plaza de Armas, catedral y colegio del distrito. En el Plano de Catastro también se muestra la ubicación de los buzones, veredas, postes, distribución de manzanas, carreteras aledañas, quebrada Yauyucan y las áreas libres de descarga final de agua pluvial (Plano PC-01).

4.2. Estudio Hidrológico

4.2.1. Parámetros morfométricos de la cuenca Yauyucan

Se determinaron los parámetros relacionados a la forma de la cuenca los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla N° 06: Características Morfométricas de Cuenca Hidrográfica

CARACTERÍSTICAS GENERALES	CUENCA
ÁREA DE CUENCA (km ²)	0.69
PERÍMETRO CUENCA (km)	3.43
COTA MÁXIMA DE LA CUENCA (m.s.n.m)	2700.00
COTA MÍNIMA DE LA CUENCA (m.s.n.m)	2430.00
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (km)	1.03
PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)	0.25
ÍNDICE DE GRAVELIUS	1.16
FACTOR DE FORMA	0.86

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.1. Área de cuenca

Se empleó el programa ArcGIS 10.5 para delimitar el área de la cuenca hidrográfica del distrito de Yauyucan.

Figura N° 08: Delimitación de cuenca Yauyucan en ArcGIS



Fuente: Elaboración propia

La cuenca hidrográfica del estudio hidrológico corresponde a la carta nacional 14 f, en una escala 1/100000. Esta información es concedida por el Instituto geográfico Nacional y sirve para poder realizar la delimitación de la cuenca en el software ArcGIS de manera precisa y georreferenciada.

Además, se complementó el estudio realizando el plano hidrológico en el programa AutoCAD 2013 (Plano PH-01).

La cuenca Yauyucan posee un área de 0.69 km².

4.2.1.2. Clasificación de cuenca

Por su tamaño: Cuenca muy pequeña, ya que posee menos de 250 km². Siendo así, una cuenca que responde a las lluvias de intensidad fuerte y duración corta.

4.2.1.3. Perímetro de la Cuenca

La cuenca Yauyucan posee un perímetro de 3.43 km.

4.2.1.4. Cota máxima y mínima de cuenca

La cota máxima de la cuenca es de 2 700 m.s.n.m.

La cota mínima de la cuenca es de 2 430 m.s.n.m.

4.2.1.5. Longitud del cauce principal

La cuenca Yauyucan no posee cauce, por lo tanto, para definir este parámetro, se ha considerado la trayectoria más larga del recorrido del agua en dicha cuenca. Como resultado se tiene 1.03 km.

4.2.1.6. Pendiente promedio de la cuenca

Se definió a través del criterio del rectángulo equivalente, el cual nos otorgó un resultado de 25.11%.

4.2.1.7. Índice de Gravelius

El índice de Gravelius que define la cuenca es de 1.16. Por lo tanto, se considera una forma de cuenca casi redonda a oval redonda.

4.2.1.8. Factor de Forma

El factor de forma que define la cuenca es de 0.86. Por lo tanto, se considera una cuenca muy ensanchada.

4.2.2. Selección del periodo de retorno

Al tratarse de una obra de drenaje pluvial urbano, el período de retorno es de 10 años, el cual es un valor recomendado por la NORMA OS.060 DRENAJE PLUVIAL URBANO del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

4.2.3. Tiempo de concentración

Para definir el valor del tiempo de concentración en horas, se emplearon ambas fórmulas: Kirpich y California Culverts Practice.

El tiempo de concentración por el método de Kirpich es de 6.94 minutos.

El tiempo de concentración por el método de California Culverts Practice es de 6.85 minutos.

4.2.4. Registro de Información Hidrológica

La estación meteorológica considerada en este estudio para obtener los datos de precipitaciones fue Chugur (Ver anexo 3.20).

Se ha considerado 30 años de registro para las secuencias históricas de precipitaciones máximas diarias otorgadas por el SENAMHI, específicamente desde el año 1990 hasta 2019 (Ver anexo 2.7).

4.2.5. Intensidad de lluvia

4.2.5.1. Análisis estadístico de datos hidrológicos

En primer lugar, se calculó la media muestral de los datos de precipitaciones máximas diarias con 30 años de registro otorgadas por el SENAMHI, los resultados fueron 56.020 mm/día y 19.368 respectivamente.

Tabla N° 07: Media muestral y desviación estándar – Método de Gumbel

Dato	Precipitación Máxima	(x1-X)^2
1	27.50	813.39
2	9.90	2127.05
3	9.40	2173.42
4	64.00	63.68
5	26.90	847.97
6	50.00	36.24
7	63.80	60.53
8	53.90	4.49
9	50.90	26.21
10	85.10	845.65
11	62.60	43.30
12	43.70	151.78
13	75.10	364.05
14	74.40	337.82
15	47.30	76.04
16	67.80	138.77
17	59.20	10.11
18	44.90	123.65
19	55.80	0.05
20	62.90	47.33
21	74.80	352.69
22	66.50	109.83
23	45.50	110.67
24	52.90	9.73
25	87.20	972.19
26	61.20	26.83
27	61.50	30.03
28	86.50	929.03
29	59.30	10.76
30	50.10	35.05
Suma:	1680.60	10878.37
x =	56.020	mm/día
Sx =	19.368	

Fuente: Elaboración propia

Como resultado final se obtuvo 81.29 mm de precipitación media máxima diaria para un periodo de retorno de 10 años, el cual corresponde al proyecto de la tesis en mención.

Tabla N° 08: Precipitación media máxima diaria para 2,5 y 10 años de periodo de retorno – Método de Gumbel

Periodo de retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Prob. de ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	Yt	Xt	F(x)	1.13Xt
2	0.367	52.84	0.5	59.71
5.00	1.500	69.95	0.8	79.05
10.00	2.250	81.29	0.9	91.85

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se aplicó la distribución logarítmica del método para hallar la intensidad de diseño correspondiente a 2, 5 y 10 años de periodo de retorno y el tiempo de duración de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos.

Tabla N° 09: Aplicación de coeficiente de duración de lluvia – Método de Gumbel

Duración de la Precipitación en horas	Coeficiente	Horas A minutos	Precipitación Máxima Pd(mm) por tiempos de duración		
			2 años	5 años	10 años
24.00	1	1440	59.71	79.05	91.85
18.00	0.9	1080	53.74	71.14	82.67
12.00	0.79	720	47.17	62.45	72.56
8.00	0.64	480	38.21	50.59	58.79
6.00	0.56	360	33.44	44.27	51.44
5.00	0.5	300	29.85	39.52	45.93
4.00	0.44	240	26.27	34.78	40.42
3.00	0.38	180	22.69	30.04	34.90
2.00	0.31	120	18.51	24.51	28.47
1.00	0.25	60	14.93	19.76	22.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10: Intensidad de lluvia sin distribución logarítmica –
Método de Gumbel

Duración de la Precipitación en horas	Horas a minutos	Intensidad de lluvia (mm/h)		
		2 años	5 años	10 años
24.00	1440.00	2.49	3.29	3.83
18.00	1080.00	2.99	3.95	4.59
12.00	720.00	3.93	5.20	6.05
8.00	480.00	4.78	6.32	7.35
6.00	360.00	5.57	7.38	8.57
5.00	300.00	5.97	7.90	9.19
4.00	240.00	6.57	8.70	10.10
3.00	180.00	7.56	10.01	11.63
2.00	120.00	9.25	12.25	14.24
1.00	60.00	14.93	19.76	22.96

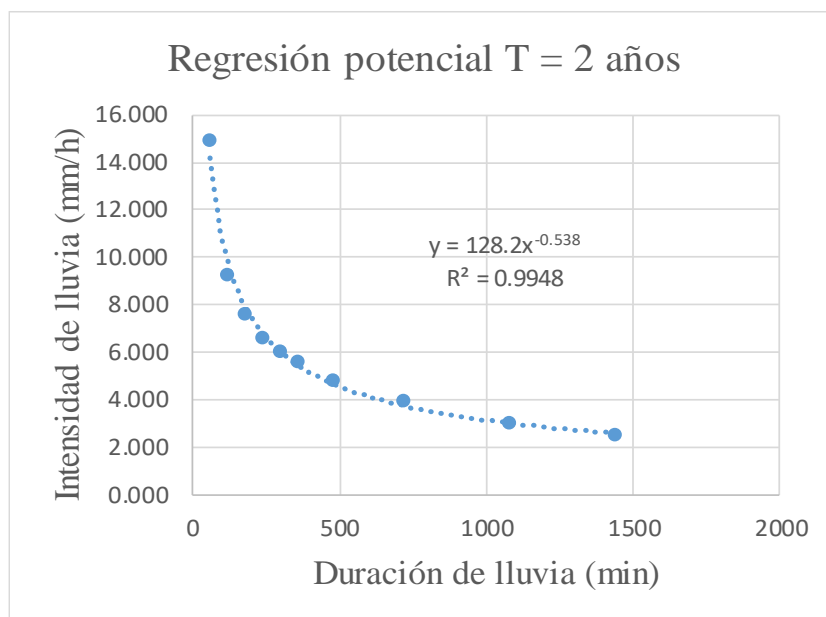
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 2
años – Método de Gumbel

Periodo de retorno para T= 2 años						
N°	x	y	lnx	lny	lnx*lny	(lnx)^2
1.00	1440	2.488	7.272	0.911	6.628	52.888
2.00	1080	2.985	6.985	1.094	7.639	48.786
3.00	720	3.931	6.579	1.369	9.006	43.287
4.00	480	4.777	6.174	1.564	9.654	38.116
5.00	360	5.573	5.886	1.718	10.112	34.646
6.00	300	5.971	5.704	1.787	10.192	32.533
7.00	240	6.568	5.481	1.882	10.316	30.037
8.00	180	7.563	5.193	2.023	10.507	26.967
9.00	120	9.255	4.787	2.225	10.653	22.920
10.00	60	14.927	4.094	2.703	11.068	16.764
10	4980	64.036	58.155	17.276	95.774	346.944
Ln(d)	4.85360	d=	128.20	n=	-0.53752	

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 09: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 2 años – Método de Gumbel



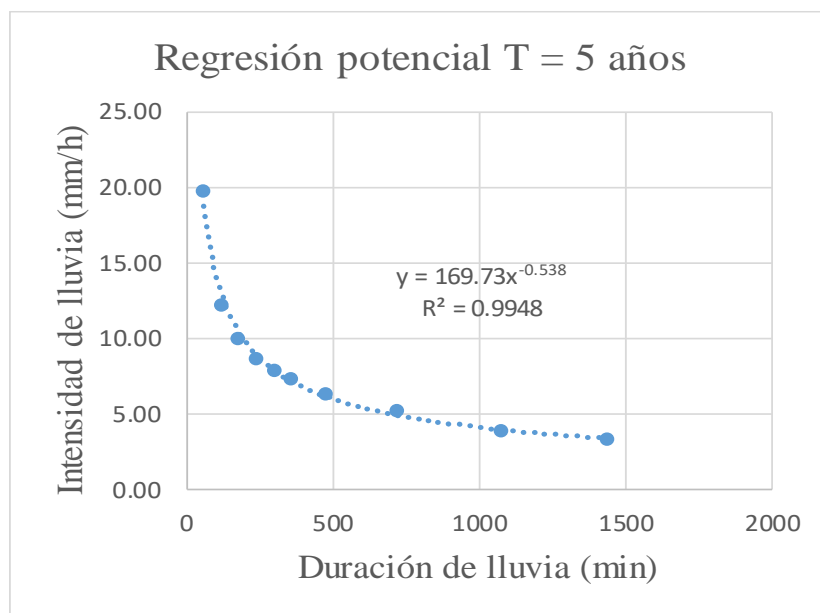
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 5 años – Método de Gumbel

Periodo de retorno para T= 5 años						
N°	x	y	lnx	lny	lnx*lny	(lnx)^2
1.00	1440	3.29	7.27	1.19	8.67	52.89
2.00	1080	3.95	6.98	1.37	9.60	48.79
3.00	720	5.20	6.58	1.65	10.85	43.29
4.00	480	6.32	6.17	1.84	11.39	38.12
5.00	360	7.38	5.89	2.00	11.76	34.65
6.00	300	7.90	5.70	2.07	11.79	32.53
7.00	240	8.70	5.48	2.16	11.85	30.04
8.00	180	10.01	5.19	2.30	11.96	26.97
9.00	120	12.25	4.79	2.51	12.00	22.92
10.00	60	19.76	4.09	2.98	12.22	16.76
10	4980	84.78	58.16	20.08	112.09	346.94
Ln(d)	5.13420	d=	169.73	n=	-0.53752	

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 10: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 5 años – Método de Gumbel



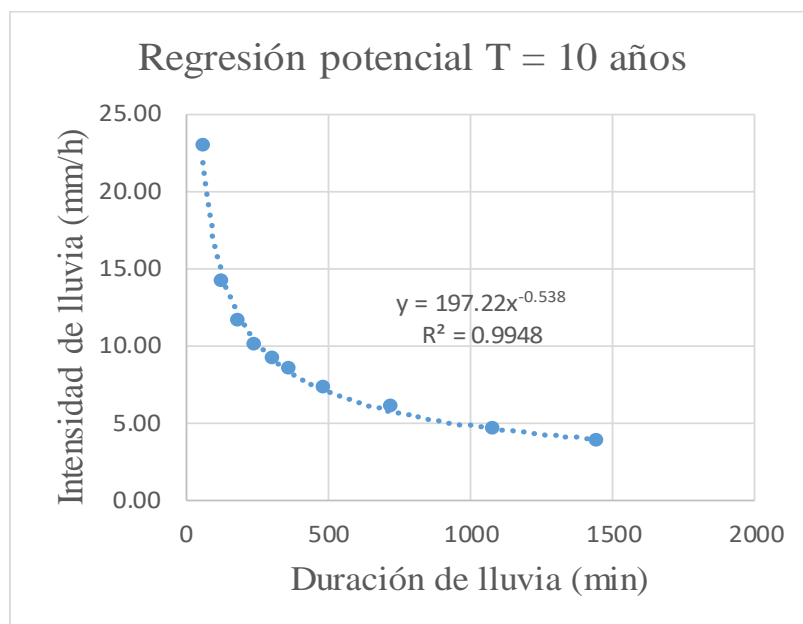
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Distribución Logarítmica para periodo de retorno de 10 años – Método de Gumbel

Periodo de retorno para T= 10 años						
N°	x	y	lnx	lny	lnx*lny	(lnx)^2
1.00	1440	3.83	7.27	1.34	9.76	52.89
2.00	1080	4.59	6.98	1.52	10.65	48.79
3.00	720	6.05	6.58	1.80	11.84	43.29
4.00	480	7.35	6.17	1.99	12.31	38.12
5.00	360	8.57	5.89	2.15	12.65	34.65
6.00	300	9.19	5.70	2.22	12.65	32.53
7.00	240	10.10	5.48	2.31	12.68	30.04
8.00	180	11.63	5.19	2.45	12.74	26.97
9.00	120	14.24	4.79	2.66	12.71	22.92
10.00	60	22.96	4.09	3.13	12.83	16.76
10	4980	98.51	58.16	21.58	120.82	346.94
Ln(d)	5.28434	d=	197.22	n=	-0.53752	

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 11: Gráfico de Regresión potencial para periodo de retorno de 10 años – Método de Gumbel



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14: Resumen de aplicación de regresión potencial – Método de Gumbel

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coefficiente De regresión (n)
2	128.2007	-0.5375
5	169.7288	-0.5375
10	197.2241	-0.5375
Promedio	165.0512	-0.5375

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15: Coeficientes K, m, n de regresión potencial – Método de Gumbel

Regresión potencial						
N°	x	y	lnx	lny	lnx*lny	(lnx)^2
1	2	128.20	0.69	4.85	3.36	0.48
2	5	169.73	1.61	5.13	8.26	2.59
3	10	197.22	2.30	5.28	12.17	5.30
3	17	495.15	4.61	15.27	23.80	8.37
Ln(K)	4.6768	K=	107.4234	m=	0.2697	
				n=	0.5375	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16: Tabla Final de Intensidades (mm/h) –Tiempo de duración (min)

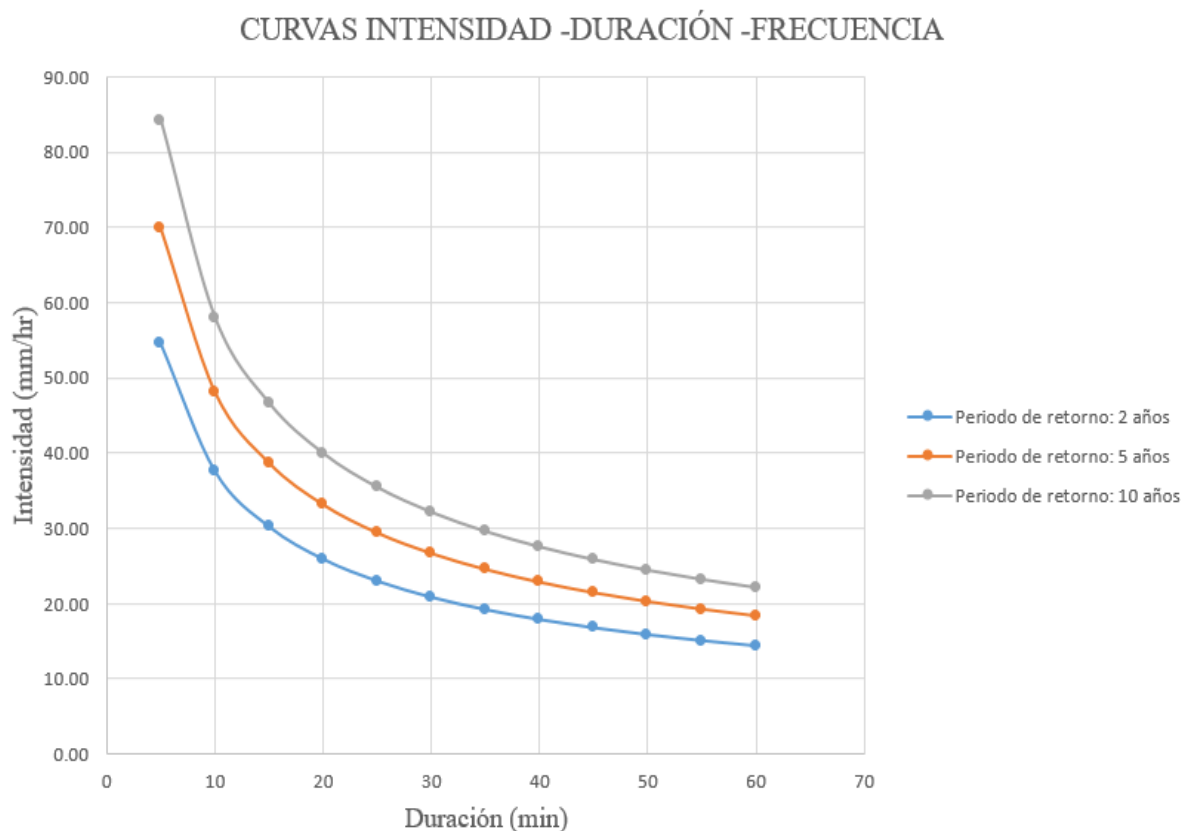
Tabla de Intensidades - Tiempo de duración												
Periodo de retorno	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2.00	54.52	37.56	30.21	25.88	22.95	20.81	19.16	17.83	16.74	15.81	15.02	14.34
5.00	69.80	48.09	38.67	33.13	29.39	26.64	24.53	22.83	21.43	20.25	19.24	18.36
10.00	84.15	57.97	46.62	39.94	35.43	32.12	29.57	27.52	25.83	24.41	23.19	22.13

Fuente: Elaboración propia

4.2.5.2. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Se realizaron las curvas de intensidad-duración-frecuencia con los datos finales obtenidos del Método de Gumbel, el periodo de retorno correspondiente a 2, 5 y 10 años y el tiempo de duración de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos.

En la Figura N° 12 se observan las curvas de intensidad, duración y frecuencia, específicamente la curva de color azul corresponde a un periodo de retorno de 2 años, la curva de color anaranjado corresponde a un periodo de retorno de 5 años y la curva de color plomo corresponde a un periodo de retorno de 10 años.

Figura N° 12: Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia

Fuente: Elaboración propia

Como resultado final, se obtuvo una intensidad de lluvia de 57.97 mm/h, correspondiente al periodo de retorno del proyecto y al tiempo de concentración de la cuenca Yauyucan.

4.2.6. Caudal Hidrológico

Se determinó el caudal de la cuenca Yauyucan a través de dos métodos:

El primer método relaciona la intensidad de lluvia obtenida de las curvas de intensidad – duración – frecuencia, y el tiempo de concentración, obteniendo una altura de lámina de agua de 9.66 mm y un volumen de agua equivalente a 6628.34 m³. Finalmente, llegando a tener como resultado un caudal de 11.05 m³/s.

Tabla N° 17: Caudal de la cuenca

ALTURA DE LÁMINA DE AGUA			
hp:	$I \times t_c =$	9.66	mm
VOLUMEN DE AGUA			
V:	$hp \times A =$	6628.34	m ³
CAUDAL DE CUENCA			
Q:	$V / t_c =$	11.05	m ³ /s

Fuente: Elaboración propia

El segundo método determinó el caudal de la cuenca a través de la fórmula correspondiente al método racional, establecida en la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano, empleando un coeficiente de escorrentía de 0.55, el cual se obtuvo a través del promedio ponderado de los distintos coeficientes que corresponden a cada clasificación de las superficies que incluye la cuenca hidrológica Yauyucan. Para ello se consideraron: Superficies de concreto, áreas de cultivo y pastizales (Ver anexo 2.8). También se empleó la intensidad de lluvia otorgada por las curvas de intensidad – duración – frecuencia y el área de la cuenca Yauyucan. Finalmente se obtuvo un caudal de 6.08 m³/s.

Tabla N° 18: Caudal de la cuenca – Método Racional

C	A (Km²)	Intensidad (mm/h)	Coefficiente Método Racional	CAUDAL (m³/S)
0.55	0.69	57.97	0.278	6.08

Fuente: Elaboración propia

Ambos resultados de caudal de la cuenca Yauyucan, son válidos pero diferentes, ya que el método racional considera la infiltración y evaporación del agua debido a que estima un coeficiente de escorrentía.

Por otra parte, al tratarse de una cuenca muy pequeña y un tiempo de concentración muy corto, el agua de lluvia no llega a infiltrarse en la superficie durante el tiempo de concentración determinado en el estudio hidrológico, es por ello que se ha calculado un caudal de la cuenca directamente desde la intensidad de diseño, la altura de lámina de agua y volumen total de agua de lluvia.

4.3. Estudio Hidráulico

Se calculó el caudal por precipitación que alberga cada calle. La calle que recibe mayor caudal por precipitación debido a ser el punto de descarga del caudal de las calles perpendiculares a ella es la 19 de mayo, en total llega 0.928 m³/s de agua de lluvia.

Tabla N° 19: Caudal por precipitación de lluvia por cada calle

CALLE	Q precipitación de lluvia (m³/s)
Calle Magisterial	0.783
Calle 19 de Mayo	0.928
Calle El Comercio	0.293
Calle Manuel Odria	0.271
Calle Consolación	0.665
Calle Cajamarca	0.186
Calle Manuel Burga	0.218
Calle El Maestro	0.164
Calle La Alborada	0.546
Calle San Francisco	0.085
Calle Belén	0.066
Calle Yauyucan	0.025

Fuente: Elaboración propia

Existen 4 tipos de cunetas en la localidad, las cuales son de concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ (Ver anexo 3.21-3.25). A continuación, se detallan las secciones:

- Cuneta Tipo 01: Cuneta triangular con dimensiones de 0.35 m de ancho, 0.35 m de altura y talud $z=1$. Se encuentran en las calles 19 de mayo y Consolación.
- Cuneta Tipo 02: Cuneta cuadrada con dimensiones de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura. Se encuentran en las calles Magisterial, El comercio, Cajamarca, Manuel Burga, El Maestro, La Alborada, Consolación y Belén.
- Cuneta Tipo 03: Cuneta triangular con dimensiones de 0.30 m de ancho, 0.15 m de altura y talud $z=2$. Se encuentran en la calle Manuel Odría.
- Cuneta Tipo 04: Cuneta rectangular con dimensiones de 0.35 m de ancho y 0.15 m de altura. Se encuentra en la calle San Francisco.

Se halló el área hidráulica, caudal de diseño y velocidad de diseño que tiene cada cuneta de la localidad a través de la fórmula de Manning. El tipo de flujo se determinó de acuerdo al número de Froude. También se halló el caudal por precipitación que cada cuneta debe evacuar.

Se consideró un coeficiente de rugosidad de 0.014 para el cálculo del caudal de diseño de las cunetas, las pendientes se obtuvieron mediante los datos del modelo topográfico digital realizado en AutoCAD Civil 3D y las dimensiones de las cunetas fueron halladas en el trabajo de campo que se realizó en la zona.

Los detalles de la ubicación de cada cuneta en la localidad y la sección transversal que posee cada una de ellas se encuentran en el Plano de la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan (Plano PR-01).

Tabla N° 20: Características de cunetas de la red pluvial de la localidad

Calle	Tipo de Sección	Descripción	Q precipitación (m ³ /s)	S(%) cuneta	n	Talud (z)	H (m)	B (m)	A (m ²)	Q diseño (m ³ /s)	Velocidad de diseño (m/s)	Tipo de Flujo	Q diseño > Q precipitación
Manuel Odría	Triangular	Cuneta Derecha Cuadra 1-5	0.074	10.2%	0.014	2.00	0.15	0.30	0.023	0.066	2.95	Supercrítico	No Cumple
	Triangular	Cuneta Izquierda Cuadra 1-5	0.197	10.2%	0.014	2.00	0.15	0.30	0.023	0.066	2.94	Supercrítico	No Cumple
19 de Mayo	Triangular	Cuneta Derecha Cuadra 1-5	0.685	9.8%	0.014	1.00	0.35	0.35	0.061	0.238	3.89	Supercrítico	No Cumple
	Triangular	Cuneta Izquierda Cuadra 1-5	0.243	9.8%	0.014	1.00	0.35	0.35	0.061	0.238	3.89	Supercrítico	No Cumple
Consolación	Triangular	Cuneta Derecha Cuadra 1-5	0.492	10.1%	0.014	1.00	0.35	0.35	0.061	0.242	3.95	Supercrítico	No Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda Cuadra 1-5	0.173	10.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.664	5.42	Supercrítico	Cumple
El Comercio	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 1	0.030	8.7%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.616	5.03	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.031	8.7%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.616	5.03	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 2	0.058	10.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.690	5.63	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.034	10.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.690	5.63	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 3	0.103	4.4%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.438	3.58	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.010	4.4%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.438	3.58	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 4	0.028	4.4%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.438	3.58	Supercrítico	Cumple
Magisterial	Cuadrada	Cuneta Izquierda Cuadra 1	0.762	8.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.622	5.08	Supercrítico	No Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha Cuadra 1	0.021	8.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.622	5.08	Supercrítico	Cumple
Cajamarca	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 1	0.033	9.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.630	5.14	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.038	9.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.630	5.14	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 2	0.064	12.5%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.739	6.00	Supercrítico	Cumple
Manuel Burga	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 1	0.034	8.0%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.591	4.82	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.036	11.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.696	5.68	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 2	0.070	11.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.696	5.68	Supercrítico	Cumple
El Maestro	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.038	6.3%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.524	4.28	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.016	6.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.516	4.21	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda Cuadra 1-2	0.059	8.0%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.592	4.83	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda Cuadra 3	0.011	6.1%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.516	4.21	Supercrítico	Cumple
La Alborada	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.036	7.7%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.580	4.73	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.041	11.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.721	5.88	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.021	10.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.690	5.63	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 1	0.037	7.7%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.580	4.73	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 2	0.070	11.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.721	5.88	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 3-4	0.317	10.9%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.690	5.63	Supercrítico	Cumple
San Francisco	Rectangular	Cuneta Derecha Cuadra 1-2	0.085	15.3%	0.014	-	0.15	0.35	0.053	0.274	5.22	Supercrítico	Cumple
Belén	Cuadrada	Cuneta Derecha Cuadra 1-2	0.019	10.0%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.661	5.39	Supercrítico	Cumple
	Cuadrada	Cuneta Izquierda Cuadra 1-2	0.047	10.0%	0.014	-	0.35	0.35	0.123	0.661	5.39	Supercrítico	Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Análisis de la capacidad actual de cunetas

Las cunetas de las calles Magisterial, 19 de mayo, Consolación y Manuel Odría no logran evacuar todo el caudal por precipitación de lluvia correspondiente a dichas calles debido a que poseen un caudal de diseño inferior. Específicamente, las cunetas de estas calles son las que reciben mayor aporte de caudal por precipitación de las cunetas de otras calles, debido a la orientación de las pendientes existentes en el distrito y de las cunetas que conforman la red pluvial. Además, son las cunetas de estas calles las que conducen finalmente el caudal por precipitación hacia las áreas libres de descarga final de agua pluvial.

Por otra parte, todas las cunetas de las calles: La Alborada, Manuel Burga, El Maestro, San Francisco, Belén, El Comercio y Cajamarca si tienen la capacidad de evacuar todo el caudal por precipitación de lluvia correspondiente, además, estas calles reciben poco aporte de caudal de otras calles de la localidad. Es necesario mencionar que la calle Yauyucan no posee cunetas.

Con respecto a la velocidad de diseño de las cunetas, todas tienen velocidades que no superan los 6 m/s, por lo tanto, al tratarse de cunetas de concreto, se puede decir que todas las cunetas tienen una velocidad de diseño admisible. La cuneta que presenta menor velocidad de diseño se encuentra en la calle Manuel Odría y la que posee mayor velocidad de diseño se encuentra en la calle Cajamarca.

Otro parámetro importante, es el tipo de flujo que poseen las cunetas, en este caso todas poseen flujo supercrítico, el cual está relacionado con velocidades de flujo relativamente altas.

4.4. Análisis descriptivo de componentes de Red de Drenaje Pluvial

El sistema de drenaje pluvial del distrito solo cuenta con cunetas mayoritariamente en ambos extremos de la calle, las cuales captan y conducen el agua hasta los lugares de descarga final. El estado de cada cuneta se detalla de manera gráfica en el Plano de descripción del estado actual de cunetas de la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan (Plano PD-01).

La Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano recomienda que en el diseño de pistas se debe disponer pendientes longitudinales y transversales con el objetivo de hacer más fácil la concentración del agua. Esto se cumple en el área del proyecto, ya que las calles

de la localidad cuentan con pendientes considerables como se ha detallado anteriormente.

4.4.1. Cunetas

Con respecto a este componente, en la localidad se tienen 4 tipos de cunetas las cuales se detallan en el estudio hidráulico y en el Plano de la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan (Plano PR-01). En las zonas de la localidad donde existe cuneta en las intersecciones de las calles, esta se encuentra subterránea (Ver anexo 3.26).

Además, solo existen dos cunetas con rejilla metálica en la localidad. La rejilla es de fierro fundido, tiene una separación de barras de 35 milímetros y se adapta a la geometría de la cuneta donde se encuentra. Las cunetas con rejilla tienen sección cuadrada de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura y sección rectangular de 0.35 m de ancho y 0.15 m de altura y se encuentran sólo específicamente en las intersecciones de las calles: Magisterial-Consolación y San Francisco-El Maestro respectivamente (Ver anexo 3.27-3.28).

En las calles: Manuel Burga – cuadra 3, Cajamarca – cuadra 3, Yauyucan – cuadra 1, La Alborada – cuadra 0 y Magisterial – cuadra 2, no existen cunetas, careciendo de estructuras de captación y conducción adecuada del agua de lluvia y por consecuencia, generando daños a largo plazo que afectan de manera directa la vida útil del pavimento, veredas y viviendas correspondientes a esas calles. Además, perjudica la transitabilidad en esas zonas en épocas de lluvias (Ver anexo 3.29-3.33).

También existen calles donde sólo hay cunetas en un lado, las cuales son: Calle Manuel Burga – cuadra 1, Cajamarca – cuadra 2, San Francisco – cuadra 1 y El Maestro – cuadra 1, esto genera deficiencias en la red pluvial del distrito, ya que el bombeo de una calle es del centro a los extremos, por lo tanto, el lado de la calle donde no exista cuneta no tendrá una estructura de captación y conducción correcta para la evacuación del agua de lluvia (Ver anexo 2.9-2.13).

Existen dos calles que tienen cunetas con problemas de infraestructura, las cuales son:

- Calle El Comercio – Cuadra 2, presenta una cuneta con infraestructura deteriorada. Además, una parte de ella se encuentra totalmente incompleta,

exactamente se trata de 0.35 m de ancho, 0.30 m de largo y 0.10 m de altura, lo cual equivale a 0.011 m^3 de cuneta destruida (Ver anexo 3.34).

- Calle Cajamarca – Cuadra 3, presenta una cuneta con infraestructura deficiente, ya que abarca solamente una mínima parte de la calle. Exactamente, abarca sólo 2 m de calle, la cual posee en total 26.2 m de longitud. Esta pequeña cuneta tiene dimensiones de 0.25 m de ancho y 0.15 m de altura (Ver anexo 3.35).

4.4.1.1. Dimensiones de la sección transversal

La Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano especifica algunas secciones recomendadas de cunetas, las cuales son: Sección rectangular, triangular, circular, trapezoidal, compuesta y en v.

Por lo tanto, todas las cunetas existentes en el distrito tienen secciones transversales en formas adecuadas de acuerdo a lo establecido en la norma.

Con respecto al ancho máximo de la superficie del agua sobre la pista, se cumple esa recomendación de la norma, ya que, en vías secundarias de bajo tránsito, este ancho debe ser como máximo igual a la mitad de la calzada, y en el caso de este proyecto, se tiene un máximo de sólo 0.35 m, lo que evidencia un valor mucho menor en comparación a la mitad de la calzada de cada calle.

4.4.1.2. Revestimiento

Todas las cunetas del sistema poseen revestimiento de concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Por lo tanto, se encuentran debidamente protegidas de las altas velocidades de flujo y la erosión.

4.4.1.3. Mantenimiento

Las cunetas de la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan no tienen ningún tipo de mantenimiento desde la construcción del proyecto.

Es evidente la ausencia de mantenimiento del sistema, ya que muchas cunetas de las calles se encuentran llenas de tierra, moho, residuos sólidos y contaminantes en general. Las calles: Consolación, Manuel Burga, El

Comercio, La Alborada, Cajamarca, Magisterial, El Maestro y 19 de mayo son un claro ejemplo del deterioro del sistema debido a la falta de mantenimiento y el poco cuidado que le brindan los pobladores de la zona (Ver anexo 2.14-2.23).

Es indispensable el mantenimiento de todas las cunetas de la localidad como mínimo dos veces al año (antes y después del período de lluvia), más aun tratándose de un lugar de la sierra del país, donde se tienen precipitaciones muy altas durante varios meses (desde octubre hasta abril).

4.5. Destino final de aguas pluviales

El distrito de Yauyucan cuenta con un sistema de evacuación final de agua pluvial por gravedad, es decir, las aguas recolectadas por las cunetas son evacuadas hacia depósitos naturales, los cuales son: una quebrada y áreas libres de descarga final (Ver anexo 3.36-3.40).

Esta evacuación es beneficiosa, ya que va de la mano con ventajas técnicas y económicas, pues no es necesario un sistema de bombeo adicional, debido a que se tienen pendientes elevadas.

Además, la red de drenaje pluvial del distrito es compatible con el medio ambiente y agradable a la población, pues parte de caudal por precipitación evacuado se emplea para el riego de cultivos, teniendo en cuenta que el distrito tiene a la agricultura como actividad económica primordial.

Con respecto a la Quebrada Yauyucan, esta recibe el 7.99% del caudal por precipitación que evacúan las cunetas del distrito, el flujo que descarga en la quebrada tiene salida desde las cunetas de la cuadra 3 y 4 de la calle La Alborada. El 92.01% de caudal restante es evacuado en las áreas libres de descarga final, las cuales están compuestas por diversos terrenos de cultivos y se encuentran aledañas a la calle Magisterial, la cual está en la zona más baja del distrito, el flujo que descarga en las áreas libres de descarga final tiene salida a través de las calles 19 de mayo, Consolación y Manuel Odría.

4.6. Interpretación de Modelamiento Bidimensional en Iber

El modelamiento bidimensional empleando el software Iber muestra el calado de caudal por precipitación y las zonas donde se concentra la mayor cantidad de flujo, generando áreas inundables. En la simulación hidráulica, se observa el movimiento del flujo por precipitación, de acuerdo a las pendientes existentes en el área del proyecto.

El modelamiento muestra que la calle 19 de mayo es la más vulnerable del distrito debido a ser el punto de descarga de las calles El Maestro, Manuel Burga, El comercio, Cajamarca y La Alborada.

Las zonas del distrito donde se presentan mayores estancamientos de agua son las intersecciones de: Calle 19 de mayo con Cajamarca, calle El Maestro con 19 de mayo, calle El Maestro con San Francisco, además, cuadra 4 de calle El Comercio y cuadra 5 de calle 19 de mayo. Muchas intersecciones son zonas donde se concentra la llegada de caudales de varias calles debido a la dirección de las pendientes existentes. El calado en estas zonas es variado y llega a ser hasta de 80 centímetros.

También se presentan estancamientos de agua, pero de menor magnitud en: Cuadra 2 de calle Magisterial, cuadra 3 de calle La Alborada, cuadra 1 de calle San Francisco, cuadra 1 de calle El Comercio, calle Yauyucan, cuadra 1,2 y 3 de calle 19 de mayo, cuadra 4 de calle Consolación, cuadra 1 de calle El Maestro y la intersección de calle 19 de mayo con Manuel Burga. El calado en estas zonas es variado y llega a ser hasta de 45 centímetros.

Exactamente en la intersección de la calle 19 de mayo con Cajamarca y cuadra 4 de calle El Comercio se encuentran las áreas de mayor inundación en la localidad.

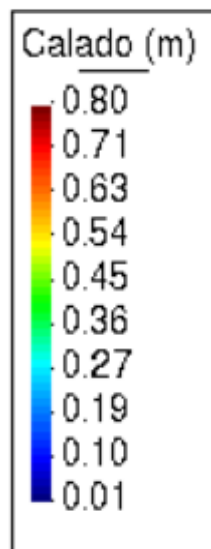
En la Figura N° 13, se observa todo lo descrito anteriormente representado de manera gráfica y simulado con un tiempo de 10 minutos y en la Figura N° 14 se observan los valores numéricos de cada calado de acuerdo al color que tiene cada punto en el área del proyecto en el modelamiento.

Figura N° 13: Modelamiento hidráulico bidimensional en software Iber



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 14: Resultados de calado en modelamiento en software Iber



Fuente: Elaboración propia

4.7. Propuestas de solución

Se plantearon propuestas de solución, ya que en todo proyecto de evaluación es de suma importancia emitir propuestas que den solución a la problemática planteada en la tesis presente. Se propone lo siguiente:

Dado que, en el estudio hidráulico, se determinaron las calles que poseen cunetas que no cumplen con evacuar el caudal por precipitación correspondiente, se plantea reconstruir con las siguientes dimensiones:

Calle Magisterial: Cuneta cuadrada con rejilla de 0.40 m de ancho y 0.40 m de altura.

Calle Manuel Odría: Cuneta rectangular con rejilla de 0.25 m de ancho y 0.20 m de altura.

Calle 19 de mayo: Cuneta rectangular con rejilla de 0.35 m de ancho y 0.40 m de altura.

Calle Consolación: Cuneta rectangular con rejilla de 0.30 m de ancho y 0.35 m de altura.

Estas dimensiones fueron determinadas a través del estudio hidráulico, específicamente mediante la fórmula de Manning, la cual es empleada para analizar la

capacidad de conducción de cunetas y poder hallar el área hidráulica adecuada. Por lo tanto, estas nuevas dimensiones propuestas de cunetas, permiten que cada cuneta tenga un caudal de diseño mayor al caudal por precipitación que deben evacuar, cumpliendo así correctamente la función de evacuar toda el agua de lluvia correspondiente. Además, cabe mencionar que la fórmula de Manning es recomendada por la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Tabla N° 21: Análisis hidráulico de nuevas dimensiones en cunetas deficientes hidráulicamente

Calle	Tipo de Sección	Descripción	Q precipitación (m^3/s)	H (m)	B (m)	Q diseño (m^3/s)	Q diseño > Q precipitación
Manuel Odría	Rectangular	Cuneta Derecha	0.07	0.20	0.25	0.21	CUMPLE
	Rectangular	Cuneta Izquierda	0.20	0.20	0.25	0.21	CUMPLE
19 de Mayo	Rectangular	Cuneta Derecha	0.69	0.40	0.35	0.77	CUMPLE
	Rectangular	Cuneta Izquierda	0.24	0.40	0.35	0.77	CUMPLE
Consolación	Rectangular	Cuneta Derecha	0.49	0.35	0.30	0.53	CUMPLE
	Rectangular	Cuneta Izquierda	0.17	0.35	0.30	0.53	CUMPLE
Magisterial	Cuadrada	Cuneta Izquierda	0.81	0.40	0.40	0.88	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Derecha	0.03	0.40	0.40	0.88	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

También, la realización del modelamiento en Iber determinó que la intersección de las calles El Comercio y San Francisco es un área inundable, por lo tanto, se plantea añadir una cuneta con rejilla de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura en dicha intersección, conectando ambas cunetas existentes, con la finalidad de evitar cualquier tipo de estancamiento de agua en esa zona.

Mediante el análisis descriptivo de componentes de la red de drenaje pluvial realizado en la presente tesis, se determinó que existen dos cunetas que tienen infraestructura en mal estado, las cuales se encuentran exactamente en: cuadra 2 de calle El Comercio y cuadra 3 de calle Cajamarca, por lo tanto, como propuesta de solución a esto se plantea reconstruirlas con las mismas dimensiones que tienen las demás cunetas en dichas calles. Estas dimensiones han sido evaluadas en el estudio hidráulico mediante la fórmula de Manning y logran evacuar el caudal por precipitación correspondiente a dichas calles, ya que el caudal de diseño de la cuneta con estas dimensiones es mayor al caudal por precipitación correspondiente.

Tabla N° 22: Análisis Hidráulico de dimensiones en cunetas en mal estado de infraestructura

Calle	Tipo de Sección	Descripción	Q precipitación (m^3/s)	H (m)	B (m)	Q diseño (m^3/s)	Q diseño > Q precipitación
El Comercio	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.034	0.35	0.35	0.690	CUMPLE
Cajamarca	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.009	0.35	0.35	0.797	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, el análisis descriptivo realizado en la presente tesis también permitió hallar cuadras de calles que no poseen cunetas, por lo tanto, se plantea construir cunetas con las mismas dimensiones de las otras cunetas existentes en dichas calles, es decir, cunetas cuadradas con rejilla metálica y dimensiones de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura en las calles: Yauyucan, cuadra 0 de calle La Alborada, cuadra 3 de calle Manuel Burga, cuadra 3 de calle Cajamarca, cuadra 1 de calle Manuel Burga, cuadra 1 de calle El Maestro y cuadra 2 de calle Cajamarca y de 0.35 m de ancho y 0.15 m de altura en la cuadra 1 de calle San Francisco, estas dimensiones permiten que la cuneta tenga un caudal de diseño mayor al caudal por precipitación que debe evacuar dicho elemento, logrando una adecuada evacuación del caudal por precipitación en esas calles durante la temporada de lluvias de alta intensidad.

Tabla N° 23: Análisis Hidráulico de dimensiones de cunetas en calles donde no existe dicho elemento

Calle	Tipo de Sección	Descripción	Q precipitación (m^3/s)	H (m)	B (m)	Q diseño (m^3/s)	Q diseño > Q precipitación
Cajamarca	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 2	0.035	0.35	0.35	0.739	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.009	0.35	0.35	0.797	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 3	0.008	0.35	0.35	0.797	CUMPLE
El Maestro	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.041	0.35	0.35	0.657	CUMPLE
Yauyucan	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.012	0.35	0.35	0.710	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 1	0.012	0.35	0.35	0.710	CUMPLE
Manuel Burga	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 1	0.036	0.35	0.35	0.591	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 3	0.017	0.35	0.35	0.142	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 3	0.016	0.35	0.35	0.142	CUMPLE
La Alborada	Cuadrada	Cuneta Derecha - Cuadra 0	0.012	0.35	0.35	0.737	CUMPLE
	Cuadrada	Cuneta Izquierda - Cuadra 0	0.012	0.35	0.35	0.737	CUMPLE
San Francisco	Rectangular	Cuneta Izquierda	0.020	0.15	0.35	0.274	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, el análisis descriptivo determinó que sólo existen dos cunetas con rejilla metálica en la localidad, por ello, como propuesta de solución también se plantea colocar rejilla metálica a todas las cunetas de sección cuadrada y rectangular de la actual red de drenaje pluvial del distrito, con la finalidad de evitar el ingreso de sólidos que obstruyan la eficiente conducción del agua de lluvia en el sistema, pues existen cunetas que tienen residuos sólidos en su interior. Además, se previene de esta manera cualquier perjuicio en el tránsito vehicular o peatonal.

De la misma forma, el análisis descriptivo también define que existen cunetas en las calles: Consolación, Manuel Burga, El Comercio, La Alborada, Cajamarca, Magisterial, El Maestro y 19 de mayo que poseen tierra, moho, residuos sólidos y contaminantes en general, específicamente un 29.4% de cunetas se encuentran afectadas, siendo esto una consecuencia de la falta de mantenimiento, por lo tanto, se plantea realizar el mantenimiento a la red de drenaje pluvial, con el fin de realizar procedimientos de limpieza e inspección de los elementos existentes, evitando así el deterioro y contribuyendo a la correcta evacuación de agua. Es fundamental que el mantenimiento se realice anterior y posterior a la época de lluvias. Además, la red de drenaje pluvial del distrito es una obra pública, por lo tanto, el mantenimiento tiene mayor importancia para asegurar la funcionalidad y la durabilidad, pues esta obra tiene una finalidad social. La falta de mantenimiento genera deterioro progresivo, el cual afecta la vida útil de cualquier proyecto.

Debido a que en el análisis descriptivo se presenta la existencia de cunetas con residuos sólidos, se plantea como propuesta de solución informar a la población acerca del cuidado de la red de drenaje pluvial del distrito mediante charlas informativas acerca del buen uso del drenaje y el daño del arrojo de basura a las cunetas. Ya que es de suma importancia incluir un mantenimiento preventivo con el fin de disminuir daños y facilitar la conservación del sistema.

Finalmente, el estudio topográfico de la zona también otorgó los datos de las pendientes existentes por cada calle del distrito, otorgando pendientes elevadas que superan mayoritariamente el 8%, es por ello que resultaría viable plantear como propuesta de solución, cambiar el drenaje superficial a un drenaje tipo alcantarillado

pluvial en todas las calles del área urbana del distrito de Yauyucan, incluyendo tuberías, sumideros, colectores y registros, ya que sería eficiente debido a las pendientes existentes en la zona. Además, la realización del modelamiento bidimensional en el software Iber consideró a las intersecciones como zonas críticas inundables debido al aporte de caudales por precipitación acumulados, por lo tanto, se plantea la colocación de sumideros en todas las intersecciones de las calles del distrito. Por último, de acuerdo a la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano, la implementación de registros es completamente necesaria en un drenaje tipo alcantarillado, ya que permiten un adecuado mantenimiento del sistema.

Todas las propuestas planteadas son viables, ya que: Técnicamente, debido al caudal por precipitación que deben albergar las calles del distrito, es necesario implementar cunetas de mayores dimensiones y nuevas ubicaciones, además, proponer la implementación de un drenaje tipo alcantarillado, contribuirá a la disminución y correcta evacuación del caudal por precipitación que afecte a la localidad. Económicamente, las propuestas planteadas involucran estructuras de bajo costo, ya que no requieren un diseño complejo ni sofisticado en la realización del proceso constructivo, sin embargo, en el caso de la propuesta de cambio de drenaje superficial a tipo alcantarillado, resulta un poco más costosa que las demás propuestas, por lo tanto, se puede considerar como la más sofisticada, ya que contempla una mayor y mejor infraestructura. Socialmente, todas las propuestas contribuyen a mejorar la calidad de vida de los pobladores, otorgándoles mayor seguridad para realizar sus actividades diarias en el periodo de lluvias y resguardando el orden urbanístico y la transitabilidad vehicular y peatonal.

Estas propuestas de solución también son concretas porque se plantean de manera precisa y se proponen debido a los resultados obtenidos de los estudios topográficos, hidrológicos, hidráulicos, descriptivos y el modelamiento hidráulico bidimensional correspondientes al proyecto estudiado.

V. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación confirman la hipótesis propuesta, ya que esta afirma que la red de drenaje pluvial del distrito de Yauyucan presenta deficiencias, por lo cual se generan problemas en la localidad. Esto se ha examinado a través de diversos estudios, los cuales se detallan a continuación:

El estudio topográfico se realizó a través de un levantamiento topográfico de la zona empleando una estación total TOPCON ES105, con la finalidad de evaluar de manera precisa las pendientes existentes en la zona urbana del distrito de Yauyucan. Además, el modelo topográfico digital trabajado en AutoCAD Civil 3D permitió hallar las curvas de nivel de la superficie del distrito cada 1 metro, lo cual también corrobora la exactitud de los resultados tratándose de un terreno escarpado. Este estudio contribuyó a la realización del análisis hidráulico de las cunetas y al modelamiento bidimensional en Iber.

El estudio hidrológico se realizó con ayuda del software ArcGIS, el cual posee un sistema con información geográfica, para delimitar adecuadamente la cuenca hidrográfica correspondiente al distrito y obtener parámetros correctos. Se obtuvo una intensidad de diseño de 57.97 mm/h a partir de la realización de las curvas de intensidad, duración y frecuencia con el registro de precipitaciones que afectan la zona, obteniendo una intensidad fuerte y constatando la fiabilidad de la problemática. Cabe señalar, que autores como Rivadeneira [19], calculan la intensidad de diseño en función a isolíneas de intensidad de precipitación y gráficos de zonificación, reduciendo este cálculo a una sola fórmula. Sin embargo, el presente estudio se sustenta en los datos de precipitaciones con 30 años de registro de la estación meteorológica Chugur, los cuales son analizados de manera estadística a través del método de Gumbel y se relacionan a su vez con el tiempo de concentración y el periodo de retorno del proyecto. El caudal de la cuenca se halló a través del cálculo de la altura de lámina de agua obteniendo un resultado de 11.05 m³/s y del método racional obteniendo un valor de 6.08 m³/s, siendo este último un método muy empleado por diversos autores como Cárdenas [2], Castillo [20], Chavarría [21] y Sandoval [22].

Tomando datos de ambos estudios anteriores, específicamente las pendientes existentes en cada calle halladas del estudio topográfico y el coeficiente de escorrentía e intensidad de diseño del estudio hidrológico, se realizó el estudio hidráulico, donde se hallaron los parámetros de diseño que poseen las cunetas de la red pluvial del distrito. Este estudio también permitió analizar la capacidad de las cunetas, comparando el caudal de diseño que

estas poseen con el caudal por precipitación de lluvia correspondiente a cada calle y así determinar si la cuneta cumple o no con la función de evacuar el agua de lluvia que le corresponde. El caudal de diseño de las cunetas fue calculado con la fórmula de Manning, la cual es comúnmente utilizada en diversos estudios internacionales y nacionales como Cárdenas [2], Castillo [20], Chavarría [21] y Sandoval [22] y Rodríguez [23]. Se determinó que existen 4 calles que poseen cunetas que no cumplen con evacuar el caudal por precipitación, por lo tanto, esta deficiencia hidráulica representa una parte significativa en la red pluvial del distrito, pues este posee 12 calles en su totalidad.

El análisis de los componentes del sistema también se realizó de manera descriptiva, pues es necesario puntualizar en sus características, ya que existen deficiencias visibles en la red de drenaje pluvial de la zona, como daños en la infraestructura de algunas cunetas, calles sin cunetas y cunetas contaminadas. Además, se realizó este análisis de acuerdo a la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la cual establece algunos parámetros mínimos y es la única normativa vigente que posee el Perú para el diseño y evaluación de un drenaje pluvial de una zona urbana. De modo que, con el estudio hidráulico y la evaluación descriptiva se analizaron de manera precisa y completa las cunetas de la red pluvial de la localidad, siendo estas, los únicos componentes que posee la red del distrito, pues se trata de un drenaje pluvial superficial.

El modelamiento en el programa Iber fue de mucha ayuda ya que, al tratarse de una tesis de hidráulica, es necesario apoyar la investigación en alguna simulación a través de un software. Cabe resaltar, que Iber es un programa de modelamiento hidráulico bidimensional, por lo que es muy útil para representar el movimiento de agua de lluvia de manera realista y es ideal en el caso de proyectos en zonas urbanas. Precisamente, el modelamiento permitió ubicar de manera exacta las zonas de mayor estancamiento de agua en la red del distrito, tomando en cuenta las pendientes de toda la superficie. También se determinó a la calle 19 de mayo como la más vulnerable de la localidad, pues tiene varias áreas inundables y alcanza calados significativos, ya que esta es la calle que recibe mayor aporte de caudal acumulado de otras calles. Este modelamiento hidráulico fue georreferenciado empleando ArcGis, SAS Planet y Google Earth, de modo que los datos obtenidos sean lo más precisos posibles, pues los caudales aplicados son pequeños, ya que se trata de una red de drenaje pluvial en un área urbana.

Finalmente, se plantearon propuestas de solución, ya que en toda evaluación es de suma importancia otorgar propuestas de solución concretas y viables, con la finalidad de

minimizar al máximo los problemas generados por las lluvias de gran intensidad que impactan directamente en la calidad de vida de los habitantes de Yauyucan. Estas propuestas abarcan desde la reconstrucción de cunetas con adecuadas dimensiones, el cambio de drenaje superficial a alcantarillado, hasta la realización de charlas que fomenten una cultura ciudadana que no afecte a las obras de drenaje, coincidiendo con Ávila [1], el cual determina diversas soluciones aplicadas directamente a la población con el fin de preservar un drenaje pluvial urbano en buenas condiciones.

Esta investigación se limita a estudiar de manera analítica y descriptiva la eficiencia de los componentes existentes en su estado actual de la red pluvial del distrito. Con respecto a la evaluación descriptiva realizada en base a la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano, es necesario definir que esta es la única normativa peruana para el drenaje pluvial urbano, sin embargo, esta norma no es muy específica en el análisis de cunetas y no precisa todos los límites que se debe tener al construir estos componentes.

Finalmente, esta investigación plantea propuestas de solución concretas para lograr un eficiente funcionamiento de la red de drenaje pluvial de Yauyucan, pero no determina el presupuesto, cronograma, programación, rentabilidad, planos, plan específico de mantenimiento ni el diseño de las estructuras que contemplan cada una de las propuestas planteadas.

VI. CONCLUSIONES

Al efectuar el estudio topográfico de la zona, se ha llegado a la conclusión de que la localidad presenta un terreno escarpado según el MANUAL DE CARRETERAS: DISEÑO GEOMÉTRICO DG – 2018, ya que tiene mayoritariamente pendientes longitudinales superiores al 8%. La calle con mayor pendiente longitudinal es San Francisco y la de menor pendiente es Manuel Burga.

El estudio hidrológico determinó que la cuenca correspondiente al distrito de Yauyucan es una microcuenca de Clase I, muy ensanchada y con un área de 0.69 km². Además, la intensidad de lluvia es clasificada como intensidad alta, debido a que posee un valor de 57.97 mm/h. Como caudal aportante de la cuenca se determinó un valor de 11.05 m³/s mediante el cálculo de la altura de lámina de agua y 6.08 m³/s a través del método racional, el cual es menor ya que considera la infiltración y evaporación del agua de lluvia en la localidad.

El análisis de la capacidad actual de las cunetas se ha realizado a través del estudio hidráulico, esto dio como resultado que en la localidad existen 4 calles, que son: Manuel Odría, Consolación, 19 de mayo y Magisterial, las cuales tienen cunetas que no cumplen con evacuar el caudal por precipitación correspondiente. Por lo tanto, esta deficiencia hidráulica del sistema afecta a un 33.3% de las calles de la localidad. Además, la calle 19 de mayo es la que deberá evacuar mayor caudal por precipitación debido a ser la que recibe mayor cantidad de caudal aportante de otras calles.

El análisis descriptivo de componentes de la red de drenaje pluvial del distrito permitió determinar las características de las cunetas y definir sus deficiencias considerando la única normativa vigente de drenaje pluvial urbano: Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Se tienen 4 tipos de cunetas revestidas de acuerdo a sus dimensiones. Además, se ha determinado que en las calles: Cuadra 2 de El Comercio y cuadra 3 de Cajamarca, hay cunetas con inadecuada infraestructura, lo cual equivale a una deficiencia del 5.9% del sistema. También, existen calles sin cunetas, como: Cuadra 2 de Magisterial, cuadra 0 de La Alborada, cuadra 3 de Manuel Burga, cuadra 3 de Cajamarca, cuadra 1 de Yauyucan, cuadra 1 de Manuel Burga, cuadra 1 de El Maestro y cuadra 2 de Cajamarca, lo cual equivale a que el 17.8% del

sistema no posee dicha estructura. Por último, existe un 29.4% de cunetas que poseen agentes contaminantes por ausencia de mantenimiento. En conclusión, el 53.1% del sistema pluvial presenta deficiencias respecto al estado actual de las cunetas.

El modelamiento de la zona en estudio en el programa Iber, se realizó con las coordenadas reales del sistema y otorga los datos exactos donde podemos encontrar inundaciones en el área del proyecto. Como resultado, se determinó que la calle 19 de mayo es la más vulnerable por ser la que recibe mayor aporte de caudal por precipitación. Además, existen estancamientos de agua en 16 puntos de la localidad, los cuales se encuentran en las calles: El Comercio, 19 de mayo, el Maestro, Cajamarca, San Francisco, La Alborada, Yauyucan, Magisterial, Manuel Burga y Consolación. Siendo exactamente: Cuadra 4 de calle El Comercio e intersección de calle 19 de mayo con Cajamarca, las zonas que presentan mayor área de estancamiento de agua pluvial.

Las propuestas de solución se establecieron acorde a los resultados del estudio topográfico, hidrológico, hidráulico, descripción de componentes del sistema y modelamiento hidráulico. Estas propuestas plantean: La reconstrucción con dimensiones adecuadas de las cunetas deficientes para evacuar el caudal por precipitación correspondientes a las calles: Magisterial, Manuel Odría, Consolación y 19 de Mayo, la colocación de una cuneta con rejilla de 0.35 m de ancho y 0.35 m de altura en la intersección de las calles El Comercio y San Francisco, la reconstrucción de las cunetas que se encuentran en mal estado de infraestructura correspondientes a las calles El Comercio y Cajamarca con las mismas dimensiones que tienen las demás cunetas en dichas calles, la construcción de cunetas cuadradas con rejilla metálica en las calles donde no exista dicho elemento y considerando las mismas dimensiones que tienen las otras cunetas existentes en dichas calles, la colocación de rejilla metálica a todas las cunetas de sección cuadrada y rectangular de la red, la realización de mantenimiento general del sistema debido a que el 29.4% de las cunetas de la red presentan agentes contaminantes, la concientización de los pobladores acerca del correcto cuidado de la red pluvial mediante charlas informativas y el cambio de drenaje superficial a tipo alcantarillado en toda la zona urbana del distrito.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el modelo topográfico digital con curvas de nivel de la superficie del distrito cada 1 metro, para otorgar exactitud a los resultados y seguir las recomendaciones de la Norma OS060 Drenaje Pluvial Urbano del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Es recomendable realizar el estudio hidrológico empleando un software que nos sirva de sustento para los cálculos que deben ser hallados. En este caso se empleó el software ArcGIS.

Se recomienda emplear fórmulas hidrológicas e hidráulicas que sean precisamente para las características de cuenca y cunetas que se tiene en el proyecto en estudio.

Para la realización del modelamiento, se recomienda conocer el funcionamiento correcto del software Iber en proyectos de drenaje pluvial urbano y de todos los programas de georreferenciación como ArcGis, Google Earth y SAS Planet que apoyan al modelado principal.

Es recomendable establecer propuestas de solución basadas precisamente en las deficiencias de la red de drenaje pluvial existentes halladas a través de los estudios realizados en la presente investigación.

VIII. REFERENCIAS

- [1] H. Ávila, “Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático – caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia”, *Revista de Ingeniería*, vol.1, n.º36, pp.54-59, jun. 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n36/n36a11.pdf>. Acceso: setiembre 2019.
- [2] R. Cárdenas Fleires, "Diseño de un sistema de drenaje pluvial óptimo y funcional para el sector “La Rotaria” de la Parroquia Raúl Leoni de Maracaibo. Edo.- Zulia", Trabajo especial de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela, 2006. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/35197052/DISE%C3%91O_DE_UN_SISTEMA_DE_DRENAJE_PLUVIAL_OPTIMO_Y_FUNCIONAL_PARA_EL_SECTOR_LA_ROTARIA_DE_LA_PARROQUIA_RA%C3%91AL_LEONI_DE_MARACAIBO_EDO_ZULIA
- [3] D. A. Alcántara, *Topografía y sus aplicaciones*, 1ra ed. México: Continental, 2014.
- [4] J. A. Cebrián y D. M. Mark, *Métodos Cuantitativos en Geografía: Enseñanza, Investigación y Planeamiento*, 1ra ed. España: Grupo de Métodos Cuantitativos, 1986.
- [5] M. Villón, *Hidrología*, 2da ed. Perú: Villón, 2002.
- [6] *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*, Ministerio de Transportes y Comunicaciones Decreto Supremo N° 034-2018.
- [7] M. Villón, *Hidrología Estadística*, 1ra ed. Perú: Villón, 2007.
- [8] M. Villón, *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*, 1ra ed. Perú: Villón, 2002.
- [9] *Drenaje Pluvial Urbano*, Ministerio de Vivienda NORMA OS.060-2018.

- [10] V. Chow, D. Maidment y L. Mays, *Hidrología Aplicada*, 1ra ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1994.
- [11] G. Sotelo, *Hidráulica General*, 1ra ed. México: Grupo Noriega, 2015.
- [12] SEMARNAT, “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Drenaje Pluvial Urbano”, Comisión Nacional del Agua, México, Manual, 2019. [En línea] Disponible en: <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf>.
- [13] SIAPA. “Lineamientos técnicos para factibilidades”, Sistema Intermunicipal de los servicios de agua potable y alcantarillado, México, Guía, 2014. [En línea] Disponible en: https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_pluvial.pdf.
- [14] Sistemas de Información Geográfica de Latinoamérica S.A.S. “Modelo de Elevación Digital”. SIGLA. <http://www.sigla-sas.com/modelos-digitales-de-elevacion.html> (acceso: 12 de setiembre de 2020).
- [15] A. Rocha, “Los Modelos, herramienta valiosa para el diseño Hidráulico”, *Revista Ingeniería y Construcción*, vol. 2, n.º 9, mayo-junio. 2007. [En línea]. Disponible en: <https://civilgeeks.com/2012/04/15/los-modelos-herramienta-valiosa-para-el-diseno-hidraulico-articulo/>. Acceso: mayo 2020.
- [16] A. Martín, M. Rosique y F. Segado, *Topografía Básica para Ingenieros*, 1ra ed. España: Editum, 1994.
- [17] R. Tuesta, J. Rengifo y N. Bravo, “Manual de ArcGIS 10 Nivel Intermedio”, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, Manual. 2013. [En línea] Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B2LXWd-oFIpfdlZfbkZOakhuWDg/view>.

- [18] Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, “Iber Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas”, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España, Manual. 2010. [En línea] Disponible en: ftp://ceres.udc.es/ITS_Caminos/2_Ciclo/Obras_hidraulicas/Curso%202012-2013/Hidraulica%20Fluvial/Iber/Manual_Basico_Usuario_Iber.pdf.
- [19] D. Rodriguez Murillo, "Evaluación del drenaje pluvial existente en la carretera Santa Clara- Entronque Vueltas comprendido entre el kilómetro 3 y 4", Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9275/Final%20Daniel%20rodriguez%20original.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [20] J. Rivadeneira Molina, "Diseño del sistema de alcantarillado pluvial del Barrio “La Campiña del Inca” Canton Quito, Provincia de Pichincha", Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Ecuador, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6402/9.20.001314.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- [21] E. Castillo Altamirano, “Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la Carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará – Amazonas”, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil , Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1511>
- [22] M. Chavarria Jaramillo, “Evaluación de las estructuras de drenaje superficial de la carretera Paria-Wilcahuain-Yanacancha km 8+500 al km 11+770”, Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaráz, Perú, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1186/T%20247%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [23] J. Noriega Dávila, "Diseño hidráulico del sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Calzada", Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú, 2002. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/368/TCIV_79.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IX. ANEXOS

ANEXO N° 01: Documentos

Anexo 1.1: Constancia de la no existencia del proyecto

CONSTANCIA

El Gerente Municipal ^{Ing.} *Gusman Ayala Mora*.....
 identificado con D.N.I. N° *16662859*..... Hace constar que el proyecto:
 "EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN,
 PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2019" no cuenta con
 código SNIP ni se encuentra en el Banco de proyectos de la Municipalidad Distrital de
 Yauyucán.

Se otorga la presente constancia para fines pertinentes.

Yauyucan, 24 de abril de 2019



Anexo 1.2: Autorización de acceso a información y permiso para estudios otorgado por la
Municipalidad Distrital de Yauyucan.

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD"

Chiclayo 23 de abril del 2019

Sr. alcalde de la Municipalidad distrital de Yauyucan

ASUNTO: Solicito carta de autorización, constancia y carta de compromiso

REFERENCIA: Proyecto de tesis "EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCÁN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2019".

De mi especial consideración

Es grato dirigirme a usted para saludarlo y a la vez manifestar lo siguiente:

Que, en calidad de alumna de carrera de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo de la ciudad de Chiclayo, he decidido desarrollar el proyecto de tesis denominado "EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2019". Motivo por el cual solicito a su digno despacho la facilidad de entrega de autorización de acceso a la información referente a dicho tema, constancia de no existir en el banco de la municipalidad dicho proyecto y carta de compromiso en bien de facilitar los permisos competentes a su entidad.

Es propicia la ocasión para reiterar mis muestras de especial consideración y estima personal.

Atentamente



Karla Fiorella Coronel Mires

DNI: 73204932

MUNICIPALIDAD DISTRITAL YAUYUCAN	
MESA DE PARTES	
EXPED. N°: 289.	FOLIOS: 04
FECHA: 24/04/19	HORA: 1:30PM
FIRMA:	

Anexo 1.3: Carta de compromiso por parte de la Municipalidad Distrital de Yauyucan.



MUNICIPALIDAD DISTRITAL YAUYUCAN
SANTA CRUZ – CAJAMARCA



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD"

CARTA DE COMPROMISO

LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAUYUCAN

Se compromete a brindar las facilidades a la estudiante KARLA FIORELLA CORONEL MIRES estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO – CHICLAYO, para realizar su proyecto de tesis denominado: "EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2019".

Dicho apoyo consta en dar facilidades de documentación existente en los archivos municipales que sirvan para el proyecto en mención, así como autorizaciones o permiso que le competen a la MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAUYUCAN.

Se otorga la presente para fines pertinentes.

Yauyucan, 24 de abril de 2019

 MUNICIPALIDAD DIST. YAUYUCAN
 Ing. Guzmán Ayala Mena
 GERENTE MUNICIPAL

Anexo 1.4: Carta de autorización por parte de la Municipalidad Distrital de Yauyucan.



**MUNICIPALIDAD DISTRITAL YAUYUCAN
SANTA CRUZ – CAJAMARCA**



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD"

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El Gerente Municipal Ing. Guzmán Ayala Meza identificado con D.N.I. N° 16662859 autoriza a la señorita Karla Fiorella Coronel Mires identificada con D.N.I. N° 73204932 para que pueda acceder a la información que habrá en los archivos municipales así como el permiso correspondiente, para que pueda realizar estudios como: Levantamientos topográficos y estudios hidrológicos en la zona de influencia donde se desarrollará el proyecto denominado "EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2019".

Se otorga la presente autorización para los fines pertinentes.

Yauyucan, 24 de abril de 2019

 **MUNICIPALIDAD DISTRITAL YAUYUCAN**
[Firma manuscrita]
Ing. Guzmán Ayala Meza
GERENTE MUNICIPAL

Anexo 1.5: Reporte de centro de salud sobre enfermedades en la zona.

CENTRO DE SALUD YAUYUCAN - SANTA CRUZ - CAJAMARCA		Ubigeo: 061311			
REGISTRO DE INGRESO DE PACIENTES POR SEXO Y TIPO DE ENFERMEDAD					
Nº	Motivo de ingreso	Niños y adolescente	Mujeres adultas	Hombres adultos	TOTAL
1	Cefalea tensional	14	7	8	29
2	Dermatitis	39	11	5	55
3	Rinofarincitis	7	11	5	23
4	Gastritis	2	5	12	19
5	Diarrea, Gastroenteritis	34	22	11	67
6	Itu	0	5	0	5
7	Lumbalgia	0	3	1	4
8	Hipertensión arterial	1	8	6	15
9	Mastitis	0	2	0	2
10	Artritis	0	0	1	1
11	Micosis	5	8	12	25
12	Faringoamigdalitis	16	7	9	32
FECHA DE EXPEDICIÓN: 04/04/2019		 <i>Josefina Medina Villalobos</i> Josefina Medina Villalobos LIC. EN ENFERMERIA C.E.P. Nº 38682			
JEFE DE CENTRO DE SALUD YAUYUCAN					
<i>Josefina Medina Villalobos</i>					
LICENCIADO EN ENFERMERIA					

ANEXO N° 02: Tablas**Anexo 2.1:** Datos generales del Distrito de Yauyucan

Departamento	Cajamarca
Provincia	Santa Cruz
Distrito	Yauyucan
Extensión Territorial (km²)	35.37
Población (hab.)	3603

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017

Anexo 2.2: Población del distrito de Yauyucan por grupos de edad

POBLACIÓN DISTRITO DE YAUYUCAN			
Edad	Hombres	Mujeres	Total
0 – 15	686	677	1363
15 - 64	848	936	1784
65 +	133	138	271
Total	1667	1751	3418

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2015

Anexo 2.3: Población económicamente activa de 15 años a más por categoría de ocupación

OCUPACIÓN	HABITANTES
Agricultura y Ganadería	414
Industrias manufactureras	21
Electricidad, gas y agua	1
Construcción	7
Comercio automotriz y reparaciones	30
Comercio al por menor	31
Hoteles y restaurantes	6
Transporte y comunicaciones	8
Actividades inmobiliarias	3
Enseñanza	79
Servicios de salud	6
Otras actividades económicas	7
Desocupado	44
TOTAL	657

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2007

Anexo 2.4: Índice de Analfabetismo Distrital – Provincial

ANALFABETISMO DISTRITO DE YAUYUCAN		
% Analfabetismo	Santa Cruz	Yauyucan
Nacional	16.9	23.1
Hombre	8.8	12.0
Mujer	24.8	33.2

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2007

Anexo 2.5: Índice de Pobreza Distrital – Provincial

POBREZA DISTRITO DE YAUYUCAN		
% Pobreza	Santa Cruz	Yauyucan
Total de Pobres	61.3	72.1
Extremo	27.3	36.9
No extremo	34.0	35.2

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2007

Anexo 2.6: Índice de Viviendas según el Tipo de Material

VIVIENDAS DISTRITO DE YAUYUCAN		
Material	Cifras Absolutas	%
Cemento	115	14
Tierra	690	85
Parqué o losetas	2	0.2
Total	807	100

Fuente: INEI, Censos Nacionales 2017

Anexo 2.7: Precipitación Máxima Diaria (mm/día)

Año	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm/día)
1990	27.50
1991	9.90
1992	9.40
1993	64.00
1994	26.90
1995	50.00
1996	63.80
1997	53.90
1998	50.90
1999	85.10
2000	62.60
2001	43.70
2002	75.10
2003	74.40
2004	47.30
2005	67.80
2006	59.20
2007	44.90
2008	55.80
2009	62.90
2010	74.80
2011	66.50
2012	45.50
2013	52.90
2014	87.20
2015	61.20
2016	61.50
2017	86.50
2018	59.30
2019	50.10

Fuente: SENAMHI

Anexo 2.8: Coeficiente de Escorrentía – Método Racional

Coeficiente de Escorrentía				
Area total de cuenca (m2):	690000	100%		
Area Concreto (m2):	172690	30%	0.83	0.249
Area de cultivos (m2):	258655	35%	0.44	0.154
Area de pastizales (m2):	258655	35%	0.42	0.147
			C=	0.55

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.9: Descripción de red de drenaje pluvial en calle Manuel Burga

DESCRIPCIÓN DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	
Calle Manuel Burga - Distrito de Yauyucan	
	
DESCRIPCIÓN	ESTADO
Ausencia de cuneta en un extremo de la calle del distrito de Yauyucan.	Ausencia de cuneta en un extremo en calle donde está ubicada la Plaza de Armas del distrito, por lo tanto, todas las estructuras presentes se ven afectadas durante el periodo de lluvias intensas.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.10: Descripción de red de drenaje pluvial en calle San Francisco

DESCRIPCIÓN DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	
Calle San Francisco - Distrito de Yauyucan	
	
DESCRIPCIÓN	ESTADO
Ausencia de cuneta en un extremo de la calle del distrito de Yauyucan.	Sólo existe una cuneta de concreto de sección rectangular en el extremo de la calle, por lo tanto, las estructuras presentes se ven afectadas durante el periodo de lluvias intensas.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.11: Descripción de red de drenaje pluvial en calle Manuel Burga

DESCRIPCIÓN DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	
Calle Manuel Burga - Distrito de Yauyucan	
	
DESCRIPCIÓN	ESTADO
Ausencia de cuneta en un extremo de la calle del distrito de Yauyucan.	Ausencia de cuneta en un extremo en calle donde está ubicada la Iglesia Principal del distrito. Debido al empozamiento del agua en ese lado de la calle, se generan contaminantes y daños en las estructuras y transitabilidad de la zona.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.12: Descripción de red de drenaje pluvial en calle Cajamarca

DESCRIPCIÓN DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	
Calle Cajamarca - Distrito de Yauyucan	
	
DESCRIPCIÓN	ESTADO
Ausencia de cuneta en un extremo de calle del distrito de Yauyucan.	Sólo existe una cuneta de concreto de sección cuadrada ubicada en un solo extremo de la calle.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.13: Descripción de red de drenaje pluvial en calle El Maestro

DESCRIPCIÓN DE RED DE DRENAJE PLUVIAL	
Calle El Maestro - Distrito de Yauyucan	
	
DESCRIPCIÓN	ESTADO
Ausencia de cuneta en un extremo de calle del distrito de Yauyucan.	Ausencia de cuneta en un extremo de la calle, por lo tanto, todas las estructuras presentes se ven afectadas durante el periodo de lluvias intensas.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.14: Descripción de cuneta en Calle Consolación

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle Consolación - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en un extremo de la calle, de sección triangular, con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Triangular	Concreto $f'c=210$ kg/cm ²	Contaminación de la infraestructura debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.15: Descripción de cuneta en Calle Manuel Burga

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle Manuel Burga - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en un extremo de la calle, de sección cuadrada, con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	Contaminación de la infraestructura debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.16: Descripción de cuneta en Calle El Comercio

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle El Comercio - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$	Cuneta contaminada con residuos sólidos, debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.17: Descripción de cuneta en Calle La Alborada

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle La Alborada - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Contaminación de la infraestructura, debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		Obstrucción de cuneta por poste de luz en el interior.
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.18: Descripción de cuneta en Calle Cajamarca

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle Cajamarca - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Falta de mantenimiento en la cuneta, provocando presencia de agentes contaminantes.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.19: Descripción de cuneta en Calle Magisterial

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle Magisterial - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Ausencia de mantenimiento en la cuneta, provocando la presencia de agentes contaminantes en la infraestructura.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.20: Descripción de cuneta en Calle El Maestro

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle El Maestro - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Agentes contaminantes en la cuneta debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.21: Descripción de cuneta en Calle Consolación

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle Consolación - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en un extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Cuneta contaminada con residuos sólidos, debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.22: Descripción de cuneta en Calle 19 de mayo

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle 19 de mayo - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en un extremo de la calle, de sección triangular, con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Triangular	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Presencia de agentes contaminantes en la cuneta, por ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

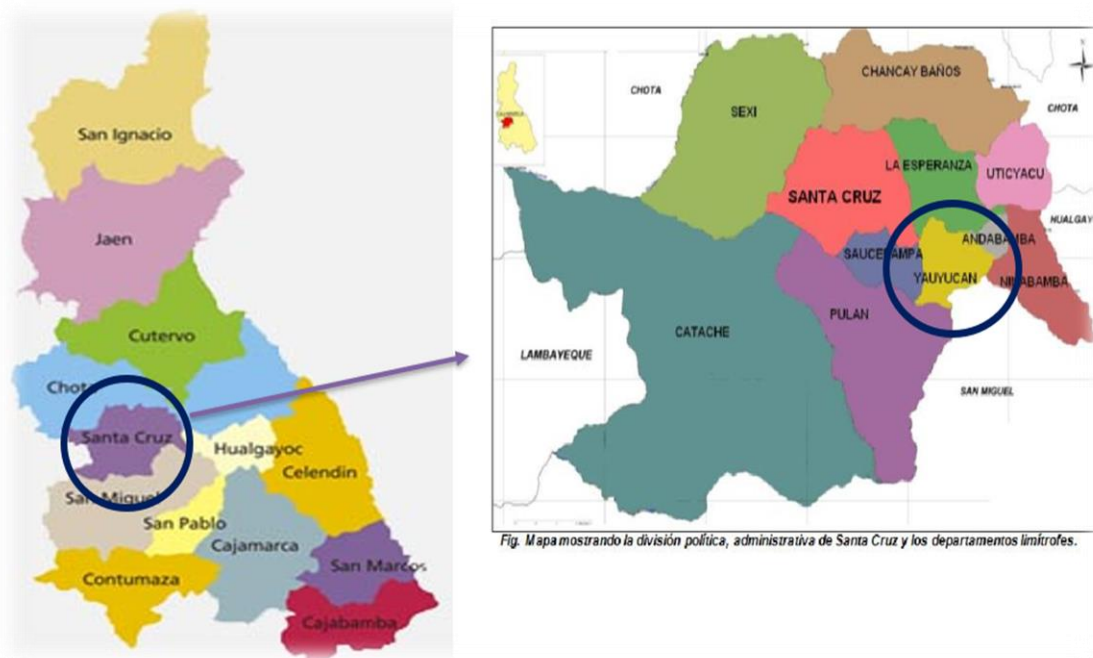
Anexo 2.23: Descripción de cuneta en Calle La Alborada

ESTADO DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTE			
Calle La Alborada - Distrito de Yauyucan			
			
DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	MATERIAL	ESTADO
Cuneta de concreto ubicada en cada extremo de la calle, de sección cuadrada con pendiente promedio de acuerdo a la calle.	Cuneta Cuadrada	Concreto $f_c=210$ kg/cm ²	Cuneta contaminada con residuos sólidos, debido a la ausencia de mantenimiento.
	Base = 35 cm		
	Altura = 35 cm		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 03: Imágenes

Anexo 3.1: Ubicación geográfica del proyecto



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.2: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.3: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.4: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.5: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.6: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.7: Situación problemática del distrito de Yauyucan

Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.8: Situación problemática del distrito de Yauyucan

Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.9: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.10: Situación problemática del distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.11: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.12: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.13: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.14: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.15: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.16: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.17: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

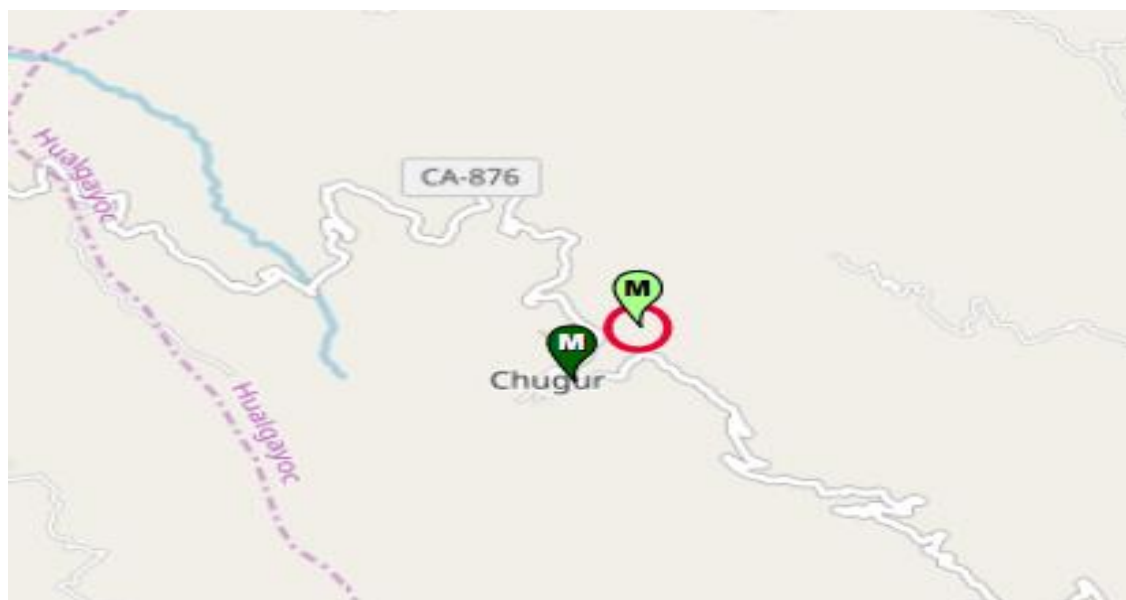
Anexo 3.18: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan



Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.19: Levantamiento Topográfico en Distrito de Yauyucan

Fuente: Trabajo de campo

Anexo 3.20: Estación Meteorológica Chugur - Cajamarca.

Fuente: SENAMHI

Anexo 3.21: Cuneta tipo 01 en Calle Consolación



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.22: Cuneta tipo 02 en Calle La Alborada



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.23: Cuneta tipo 03 en Calle Manuel Odría



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.24: Cuneta tipo 03 en Calle Manuel Odría



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.25: Cuneta tipo 04 en Calle San Francisco



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.26: Cuneta subterránea en Distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.27: Cuneta con rejilla en Calle San Francisco – Calle El Maestro



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.28: Cuneta con rejilla en Calle Magisterial – Calle Consolación



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.29: Ausencia de cunetas en calle Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.30: Ausencia de cunetas en calle Magisterial



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.31: Ausencia de cunetas en calle Manuel Burga



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.32: Ausencia de cunetas en calle Cajamarca



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.33: Ausencia de cunetas en calle La Alborada

Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.34: Descripción de cuneta con infraestructura deteriorada en calle El Comercio

Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.35: Descripción de cuneta con infraestructura deficiente en calle Cajamarca



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.36: Quebrada de disposición final en Distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.37: Quebrada de disposición final en Distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.38: Quebrada de disposición final en Distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.39: Quebrada de disposición final en Distrito de Yauyucan



Fuente: Visita a la zona

Anexo 3.40: Áreas libres de descarga final en distrito de Yauyucan



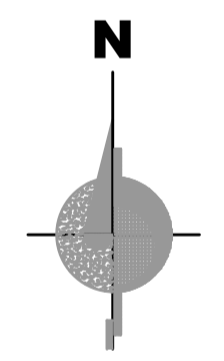
Fuente: Visita a la zona

ANEXO N° 04: Planos

PROYECTO:

"EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA 2019"

ORIENTACIÓN:



ALUMNO: KARLA FIORELLA CORONEL MIRE

PLANO
CATASTRAL
DEL PROYECTO

ASESOR:
ING. ING. WILMER MOSES ZELADA ZAMORA

OBSERVACIONES:

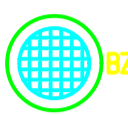
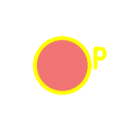

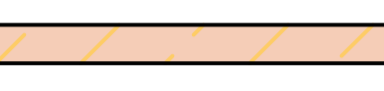
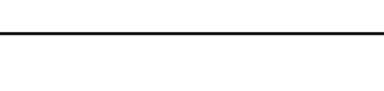
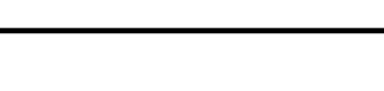
ESCALA: 1/2500

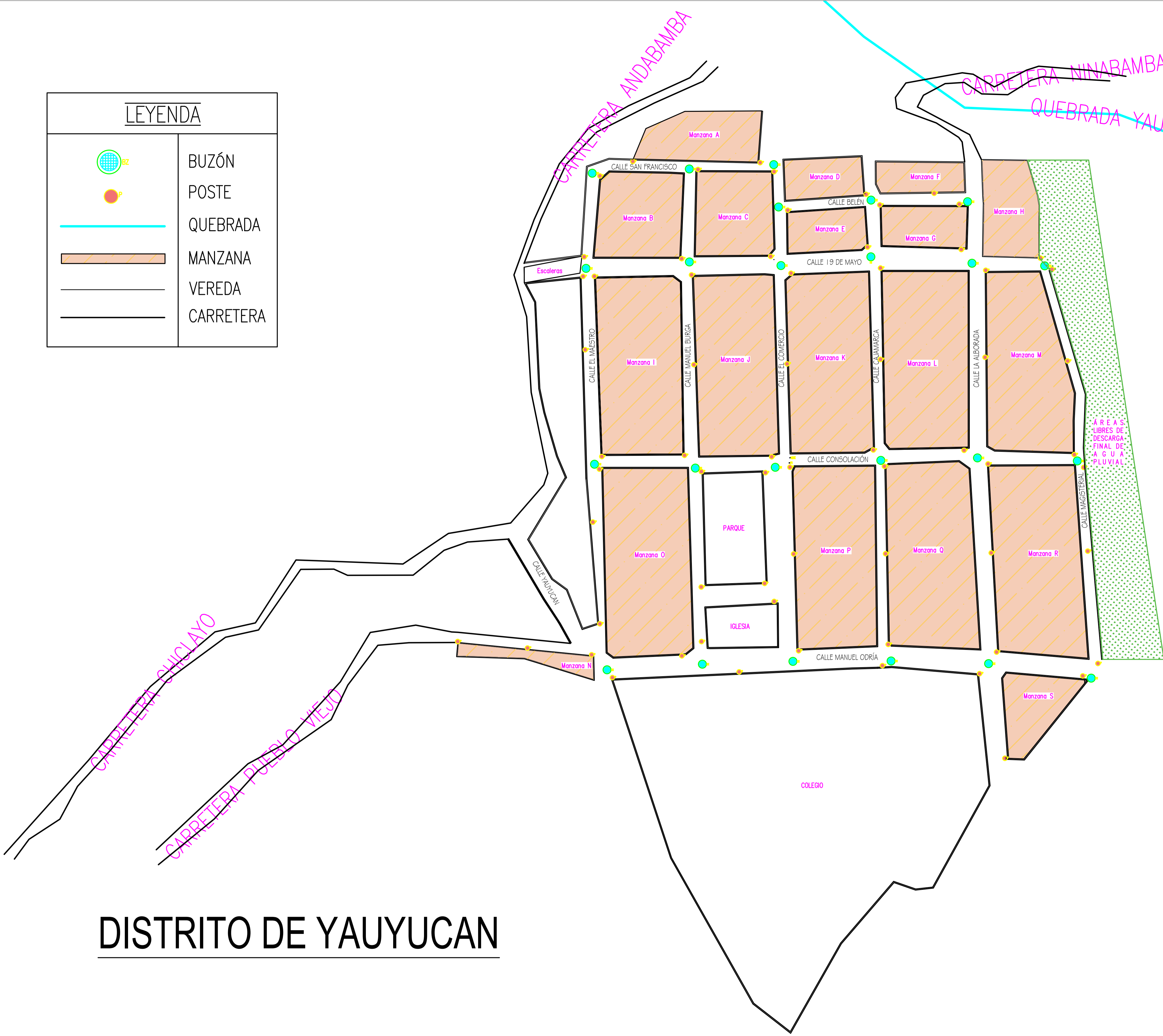
FECHA: 11/2019

DIBUJADO: K.F.C.M

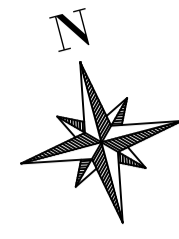
LÁMINA:

PC - 01

LEYENDA	
	BUZÓN
	POSTE
	QUEBRADA
	MANZANA
	VEREDA
	CARRETERA



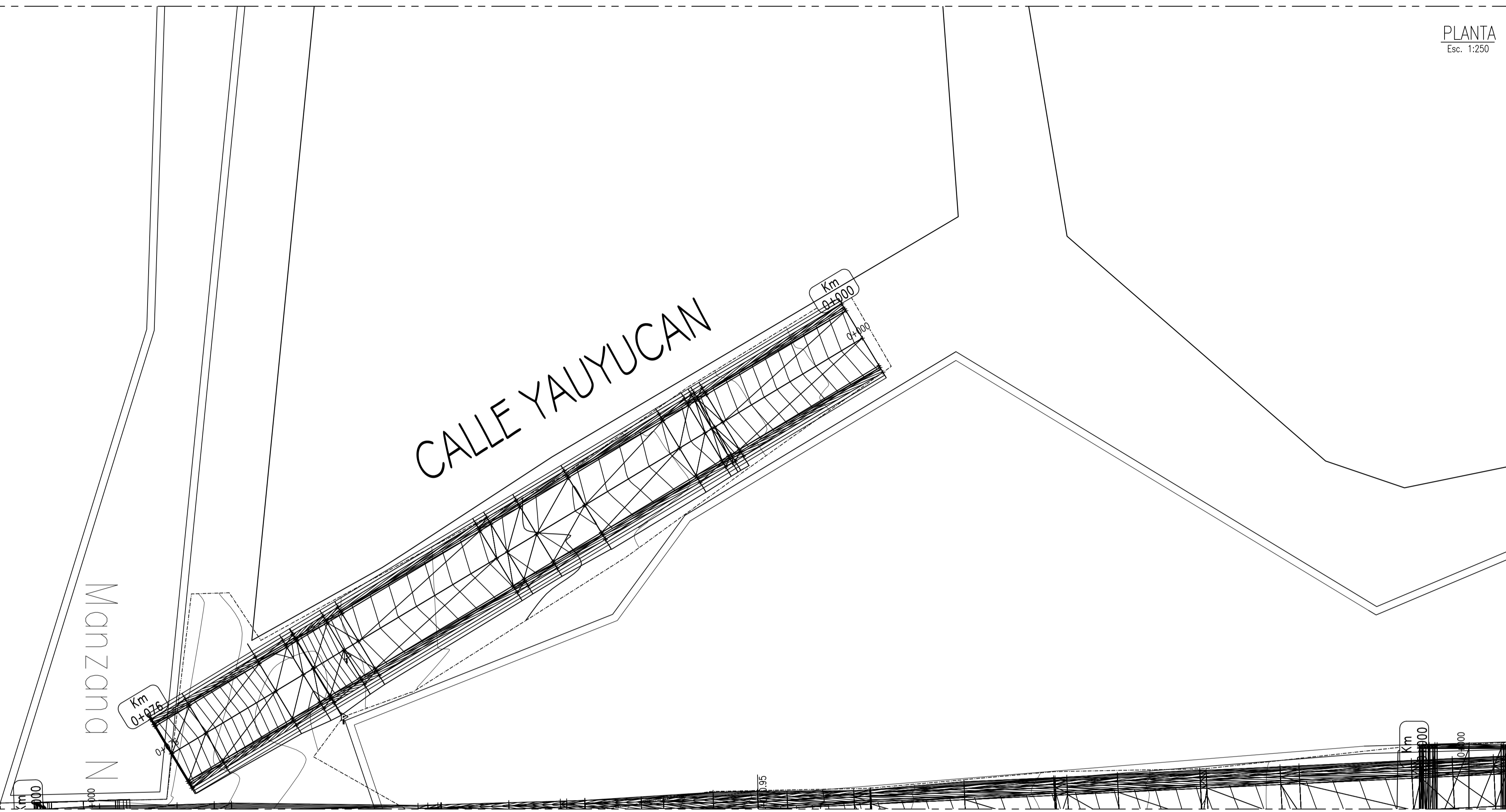
DISTRITO DE YAUYUCAN



PLANTA
Esc. 1:250

CALLE YAUYUCAN

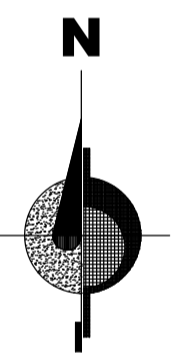
Manzana N



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

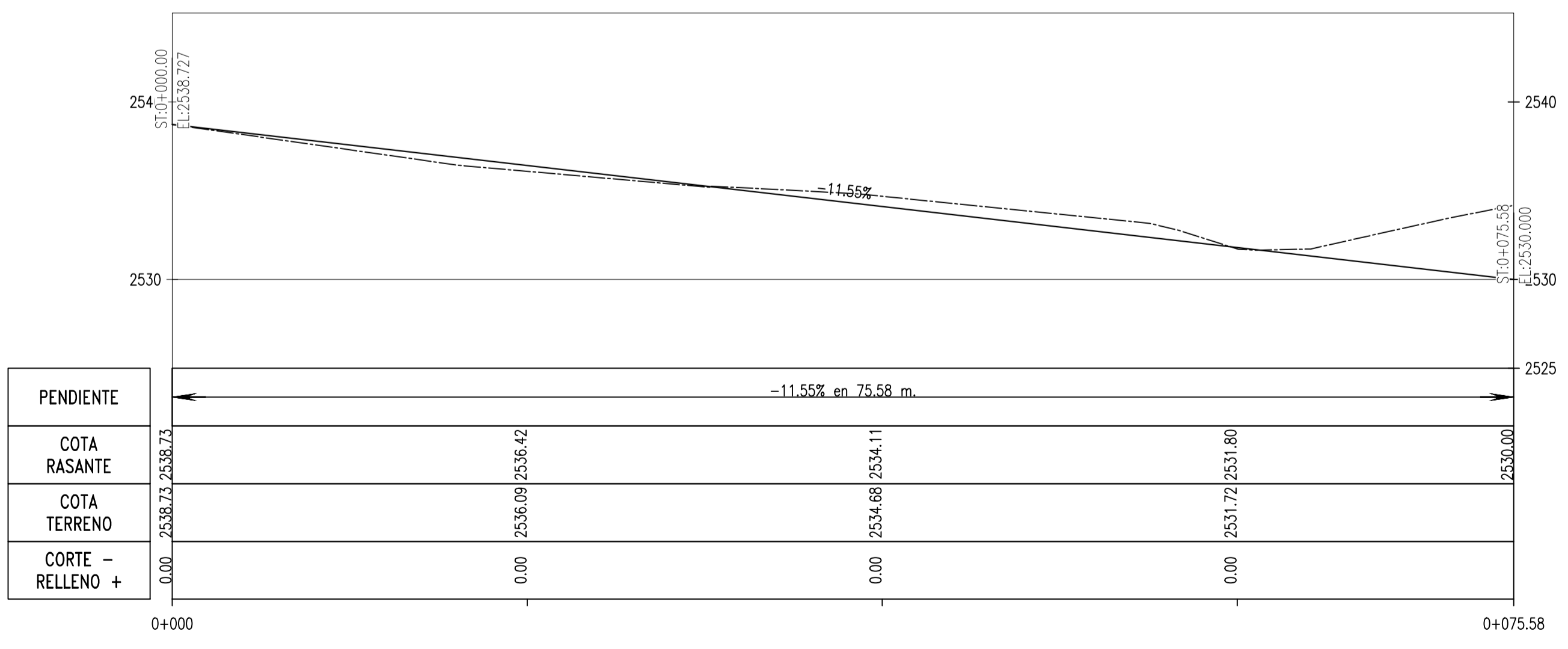
PROYECTO:
"EVALUACIÓN DE LA RED DE DRENAJE PLUVIAL EN EL DISTRITO DE YAUYUCAN, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA 2019"

ORIENTACIÓN:

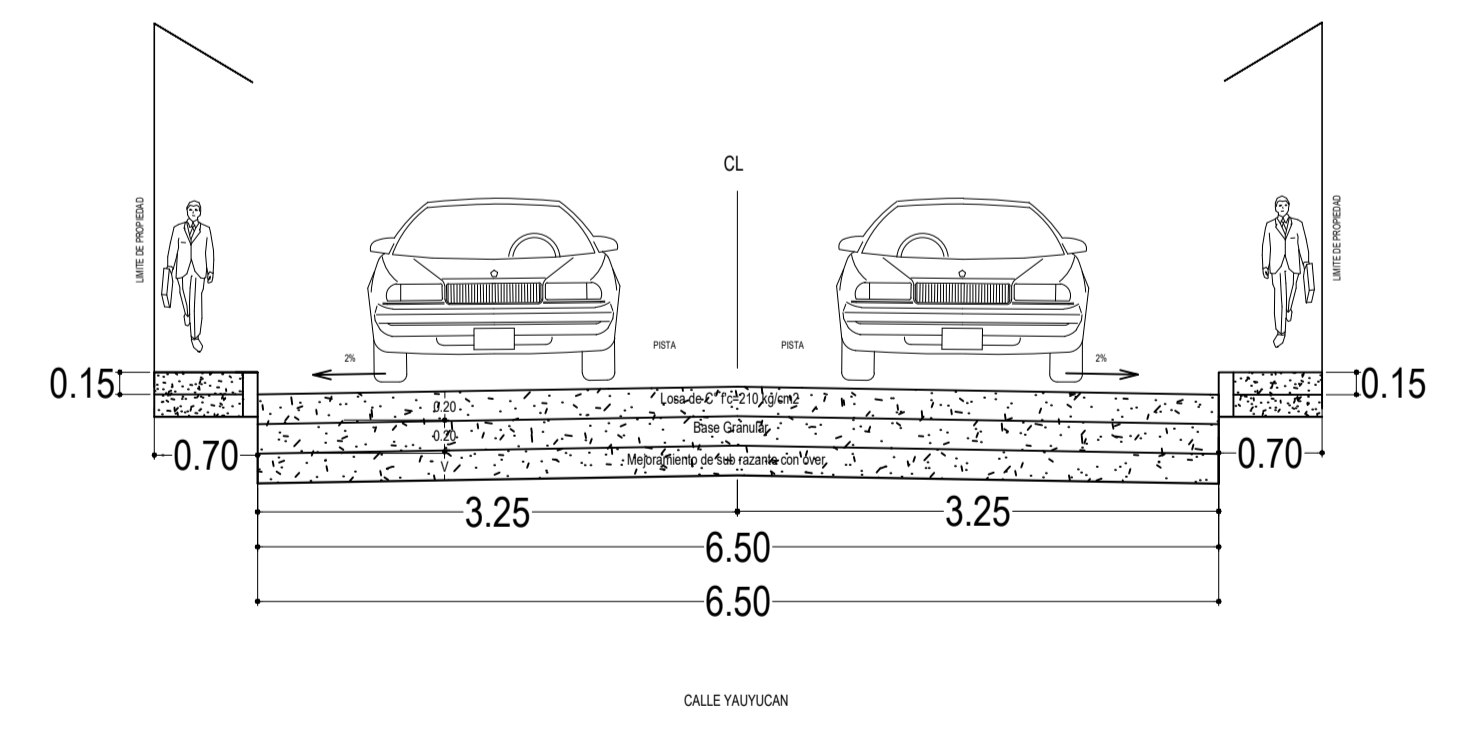


PERFIL LONGITUDINAL
Esc. H: 1:25
Esc. V: 1:250

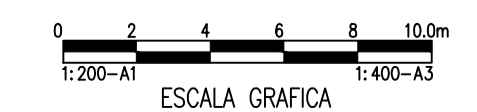
PERFIL: PERFIL YAUYUCAN
Esc. Hz: 2000
Esc. Vert: 2000



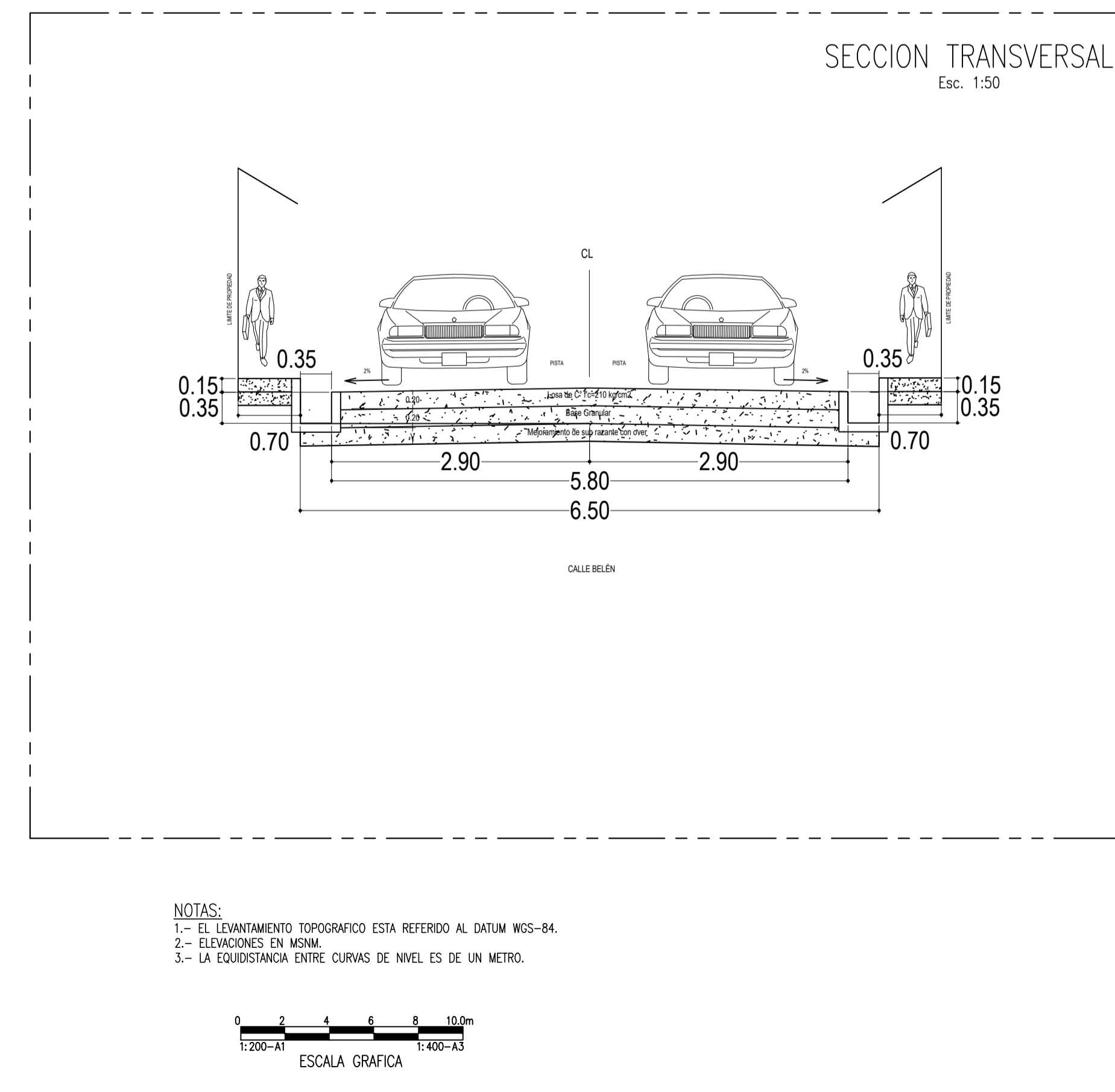
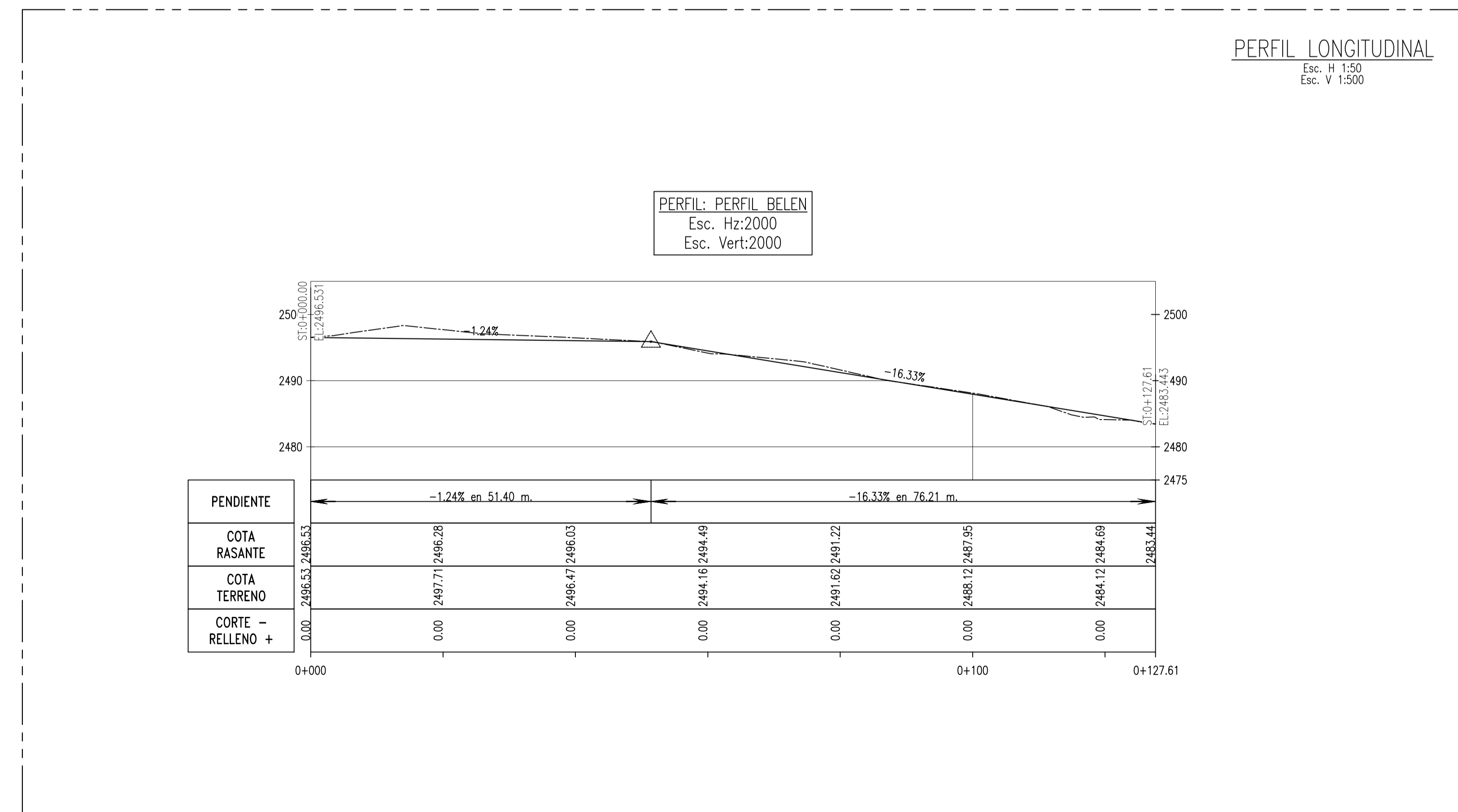
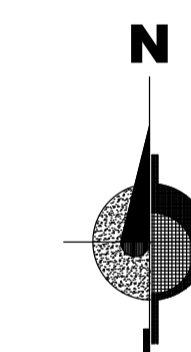
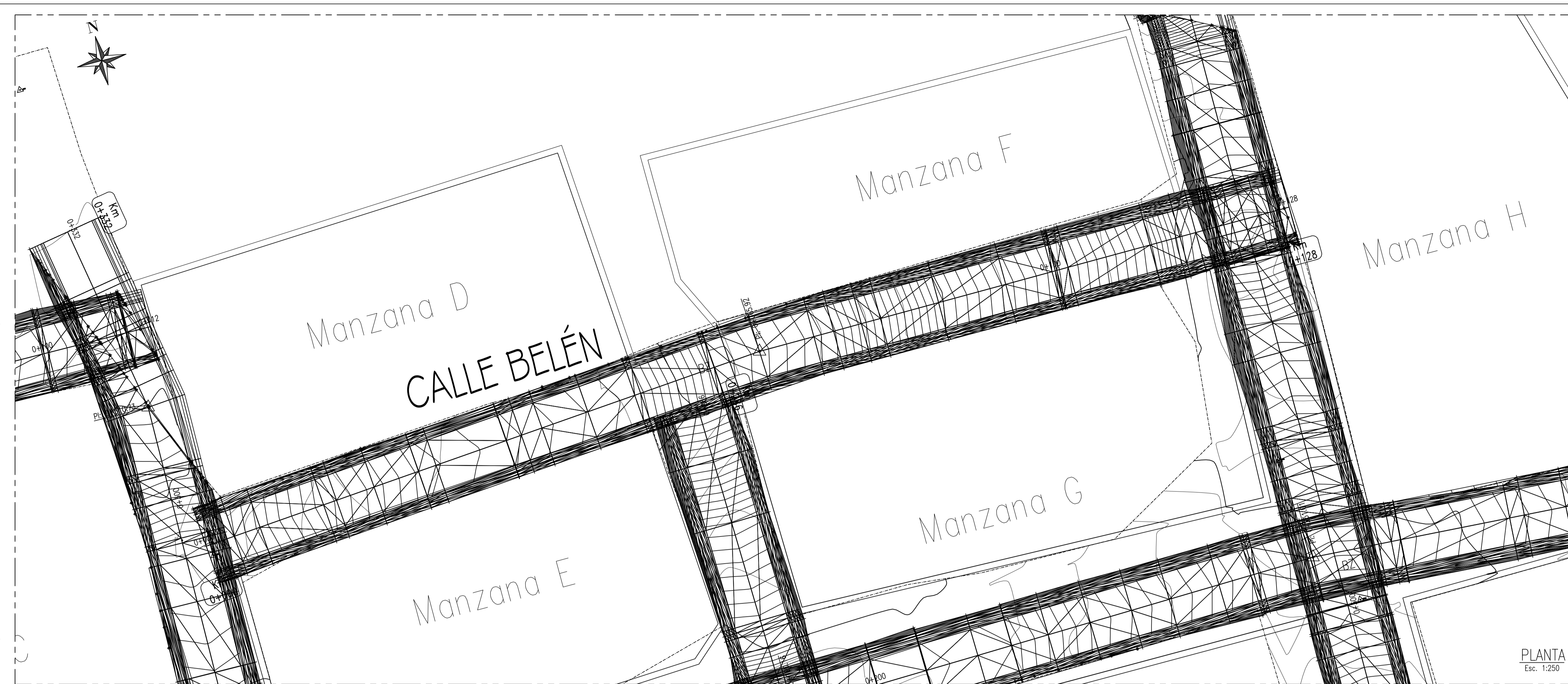
SECCION TRANSVERSAL
Esc. 1:50

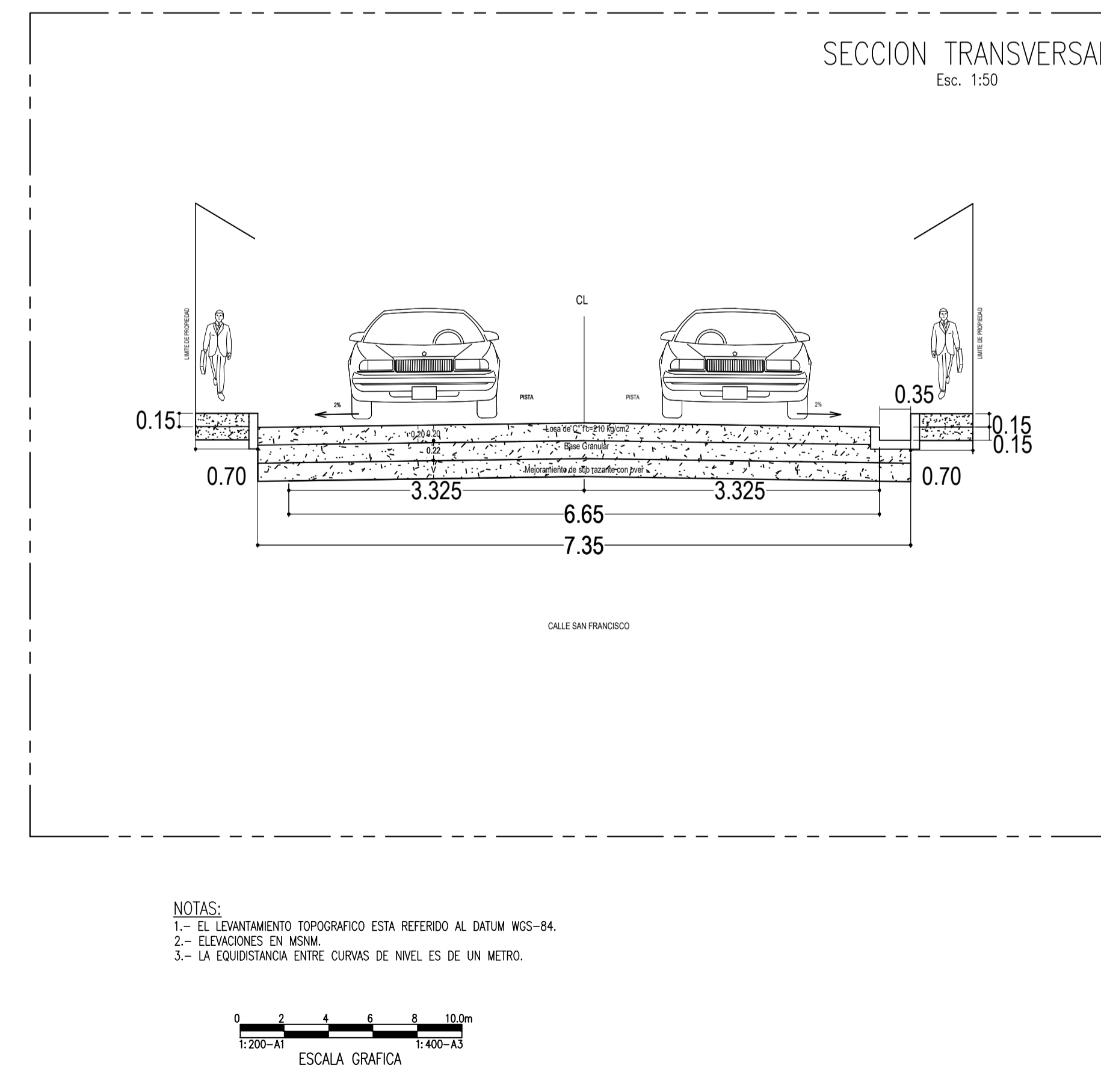
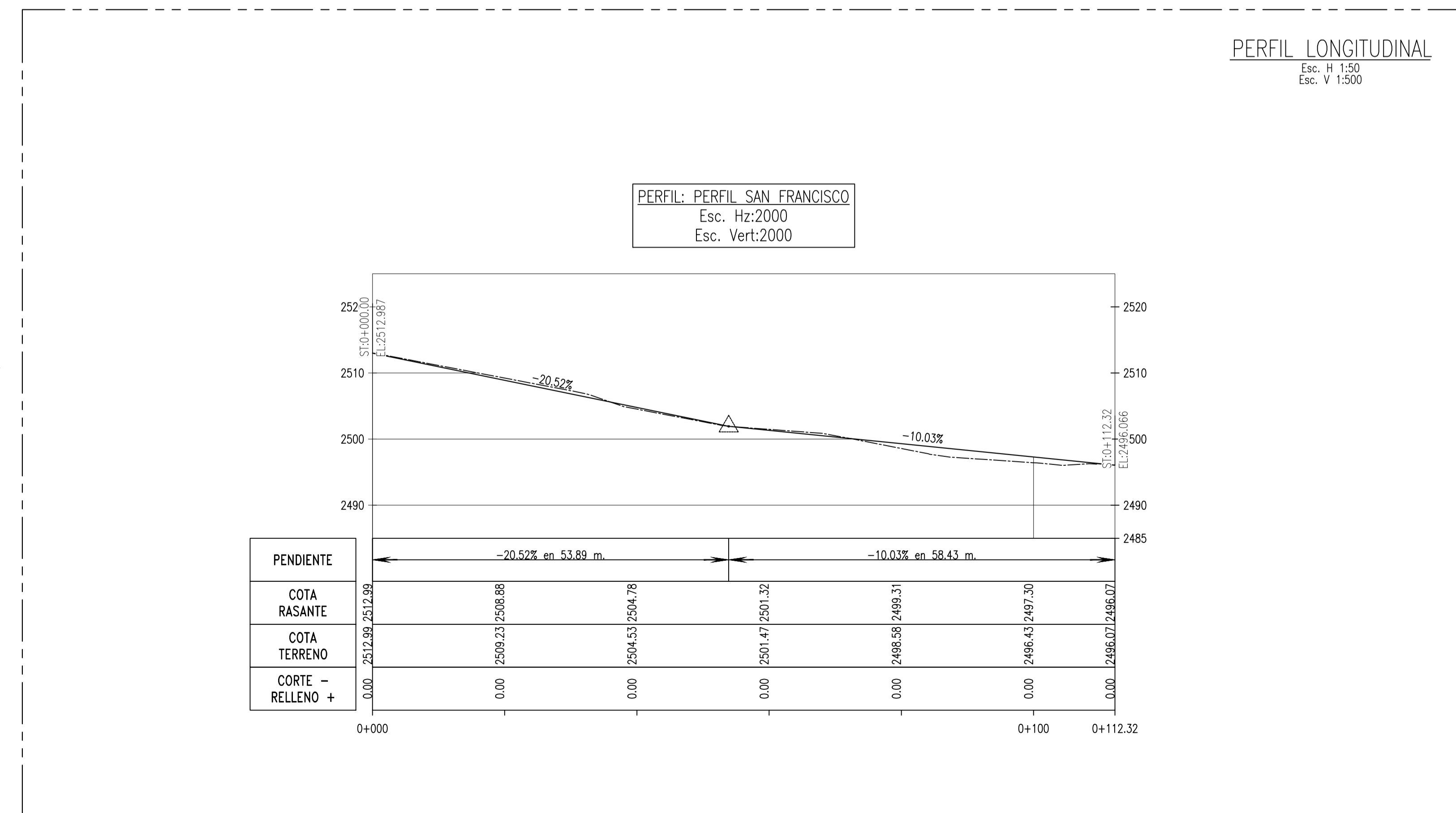
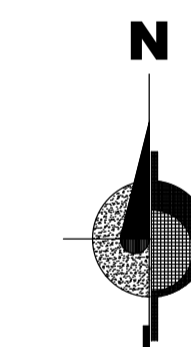
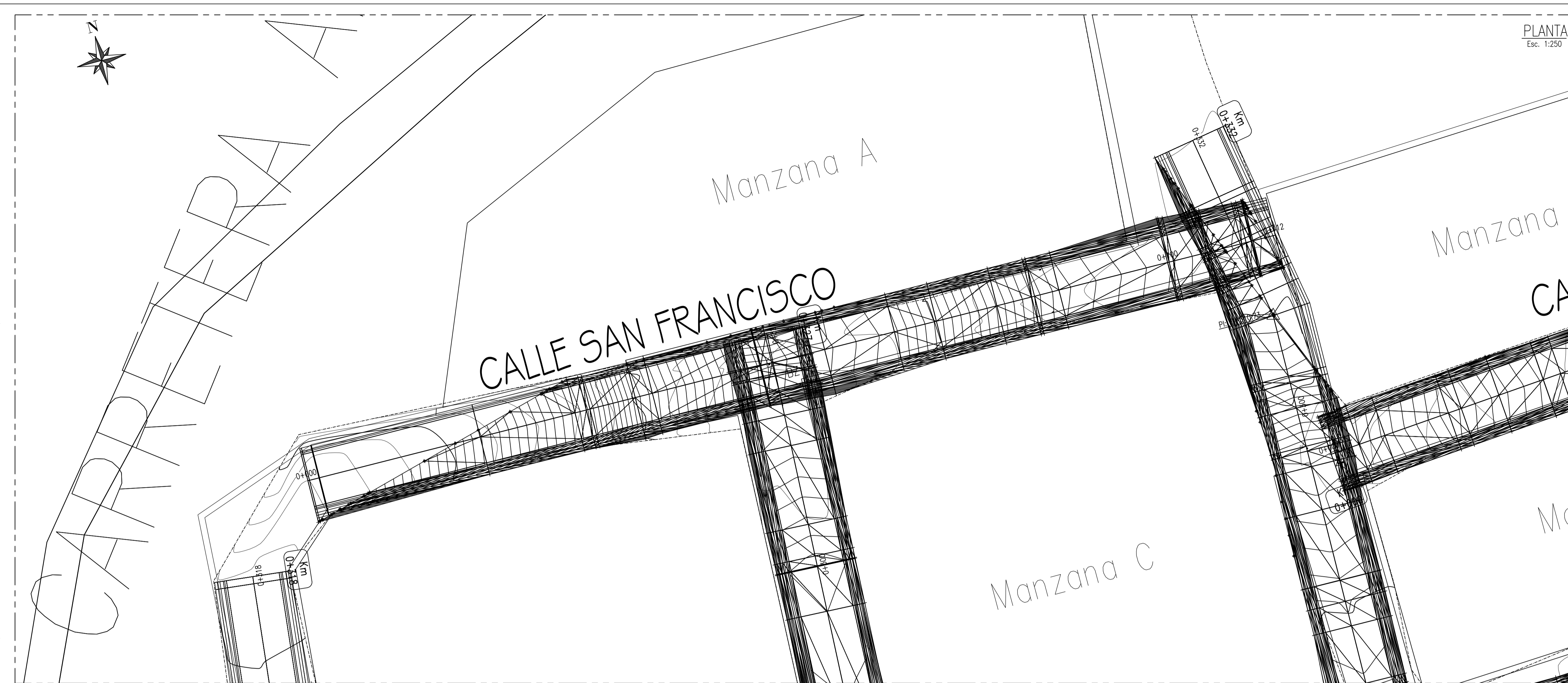


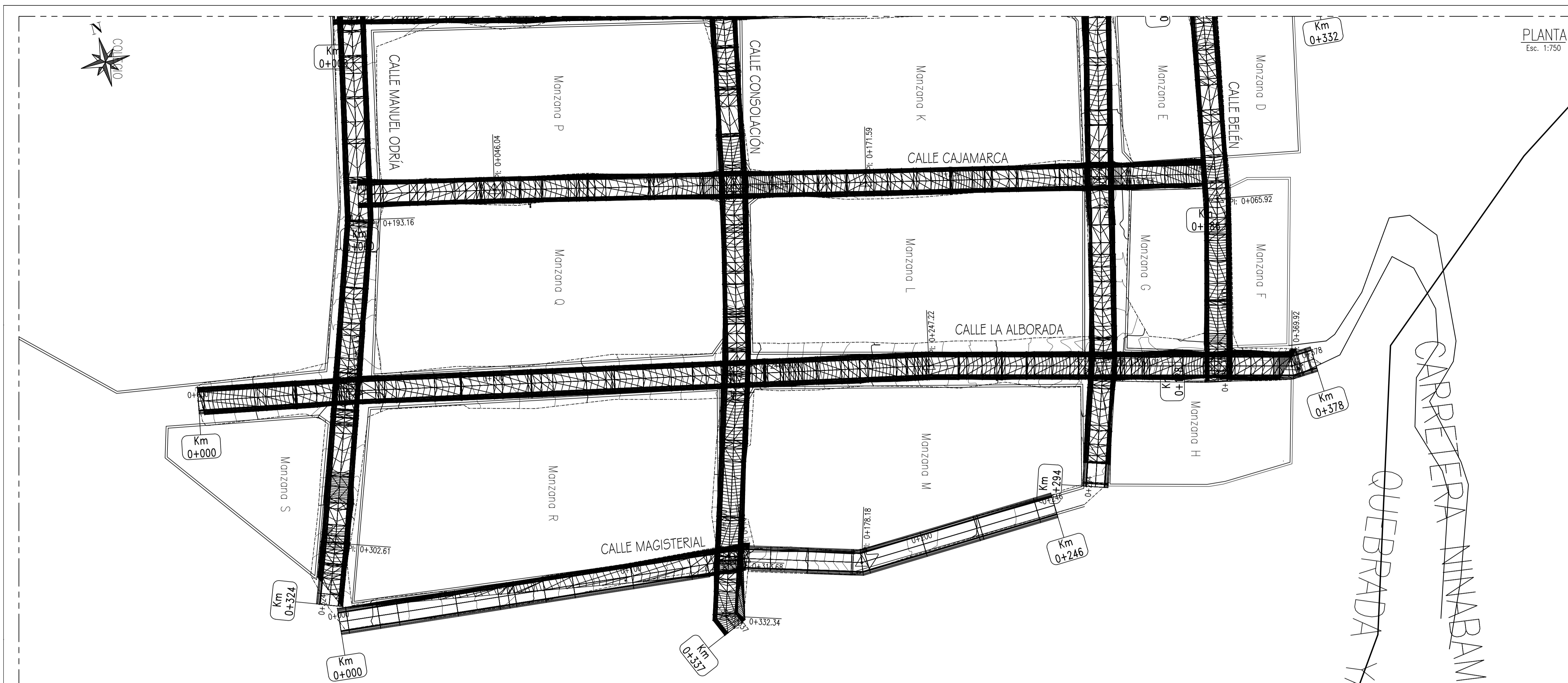
NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.



ALUMNO: KARLA FIORELLA CORONEL MIRES	PLANO: PLANTA - PERFIL Y SECCION TRANSVERSAL DE CALLE YAUYUCAN
	ASESOR: ING. WILMER MOISES ZELADA ZAMORA
	OBSERVACIONES:
	ESCALA: INDICADA
	FECHA: 11/2019
DIBUJADO: K.F.C.M	
LÁMINA: PP - 01	



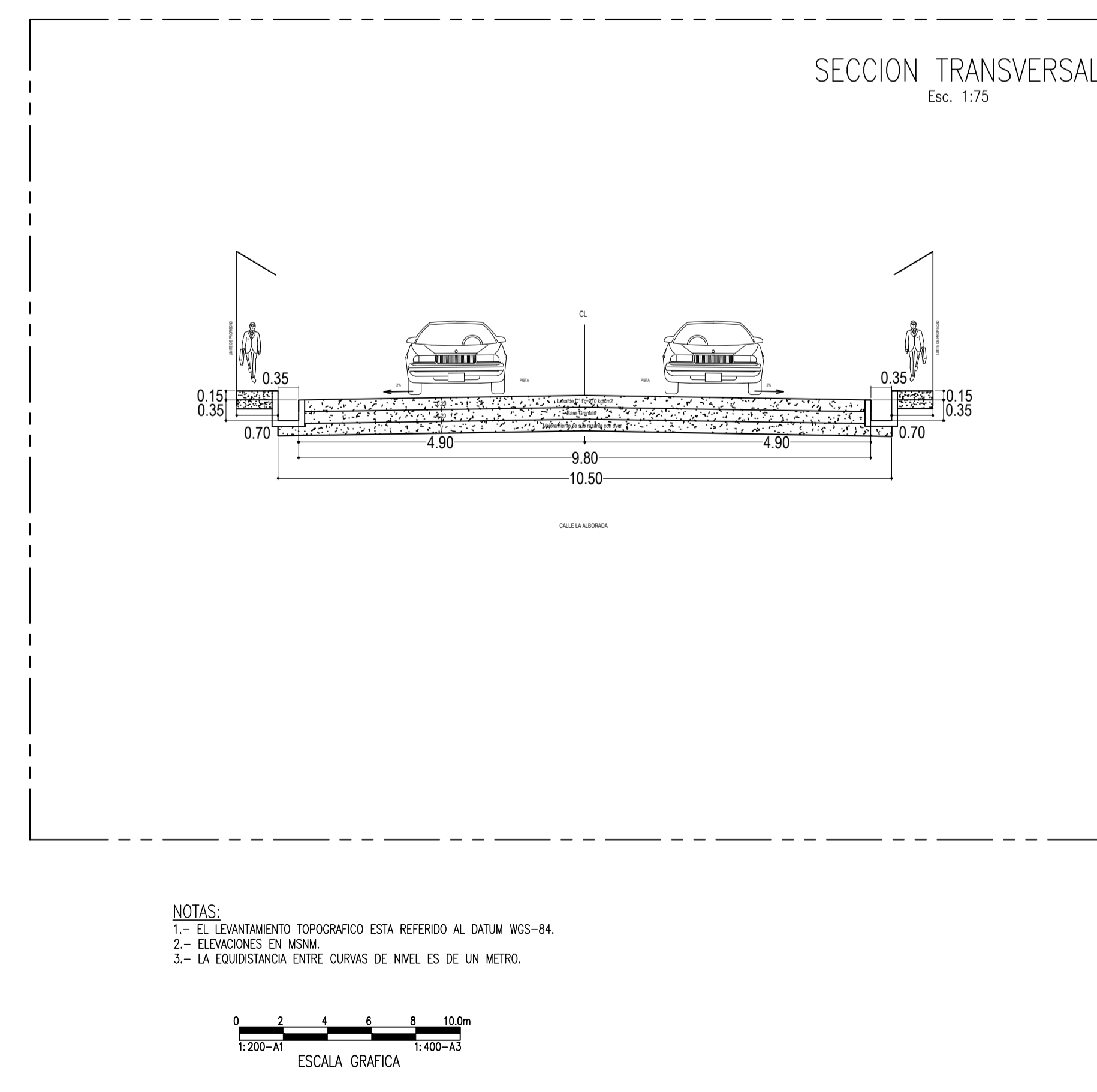
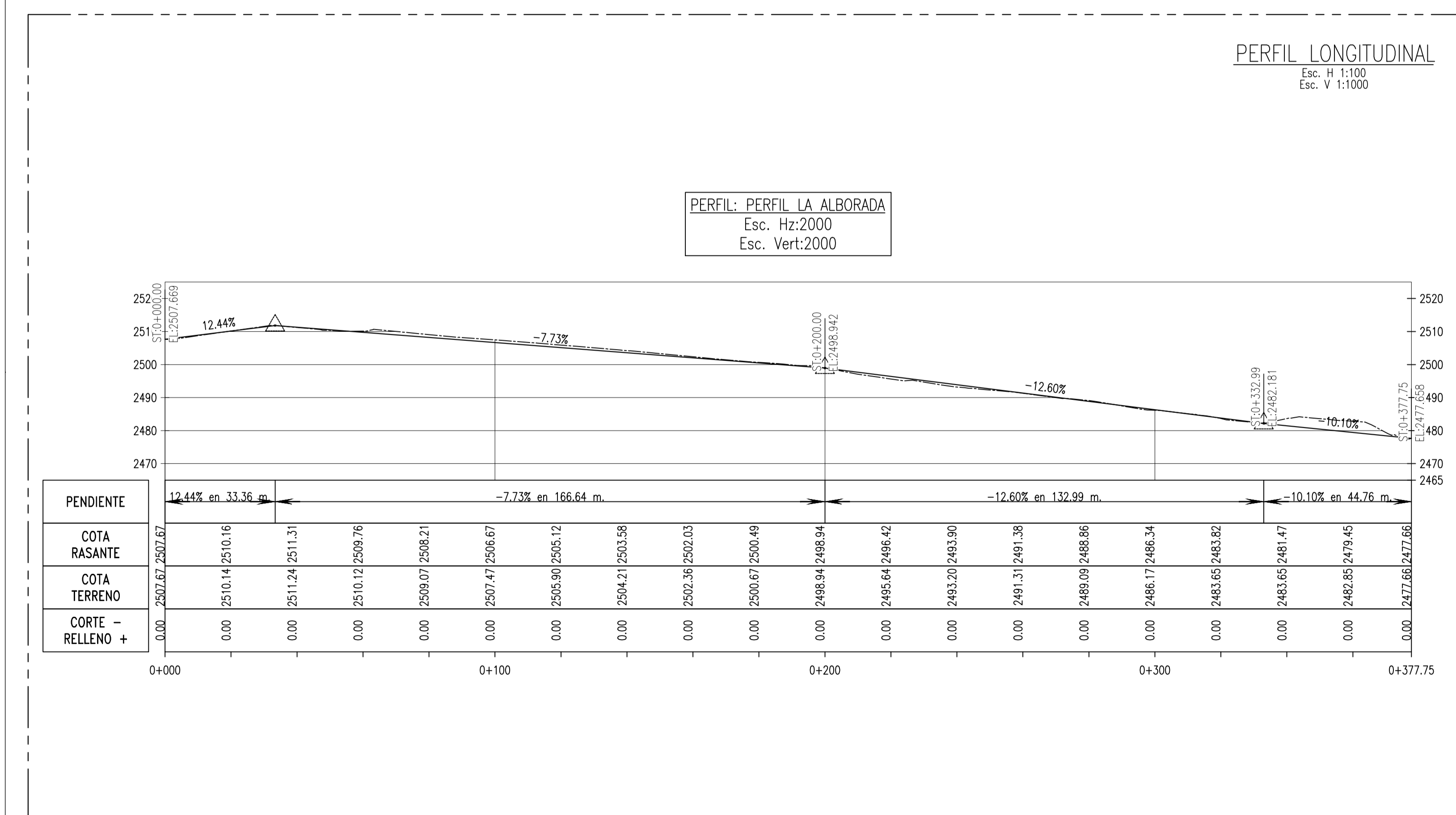
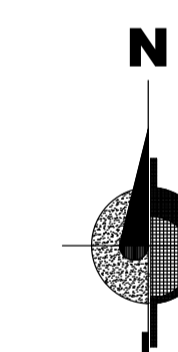


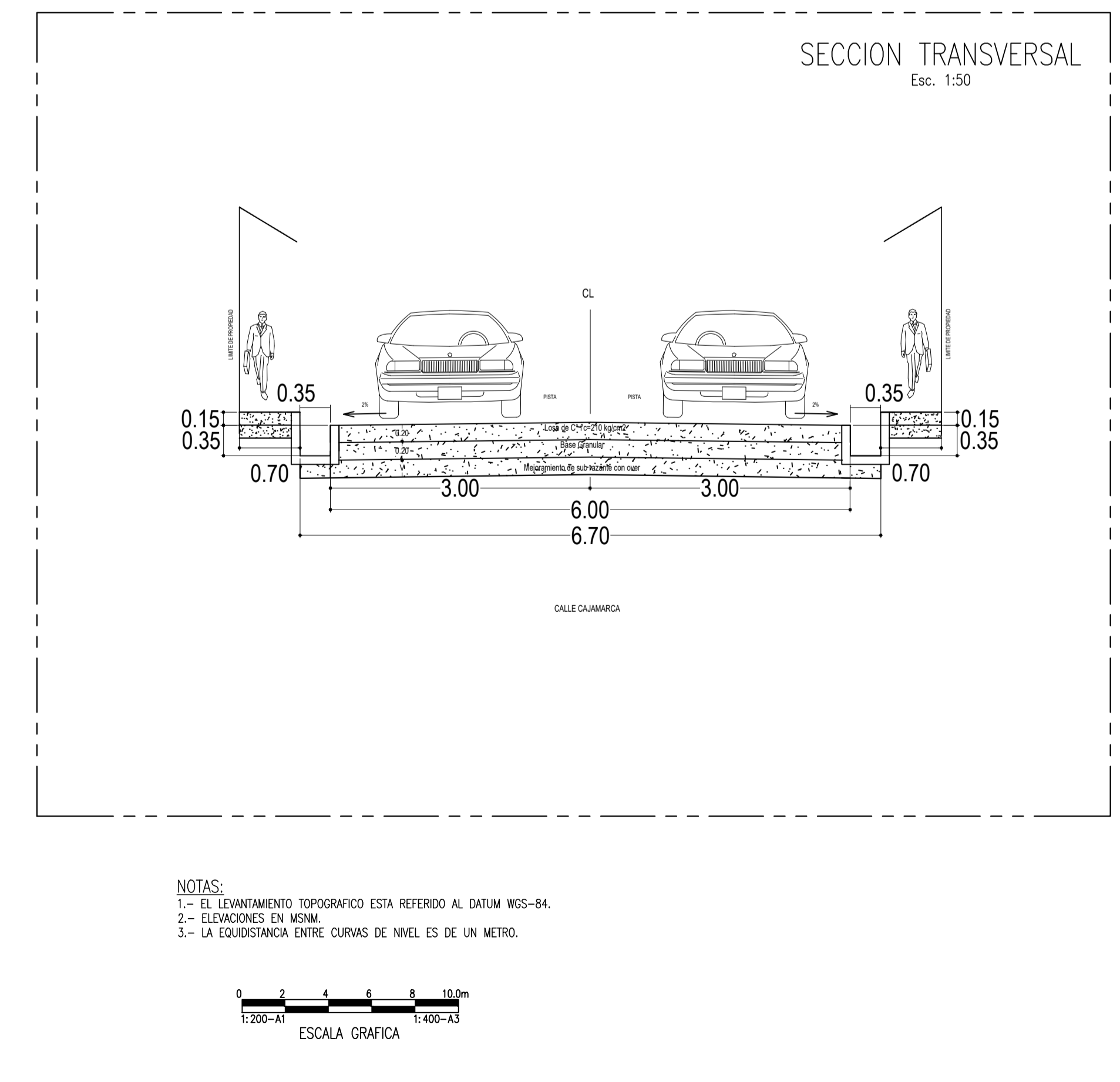
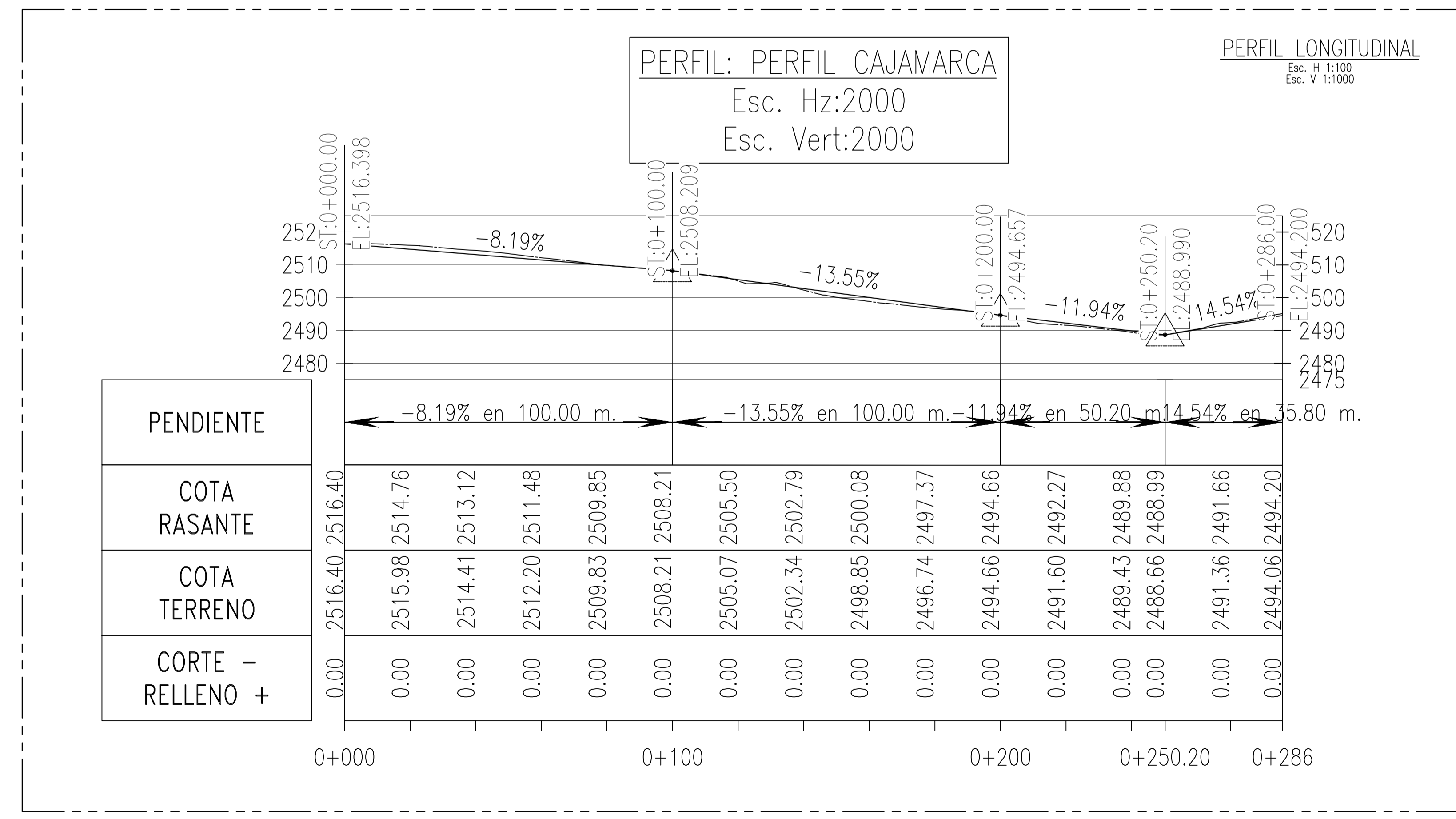


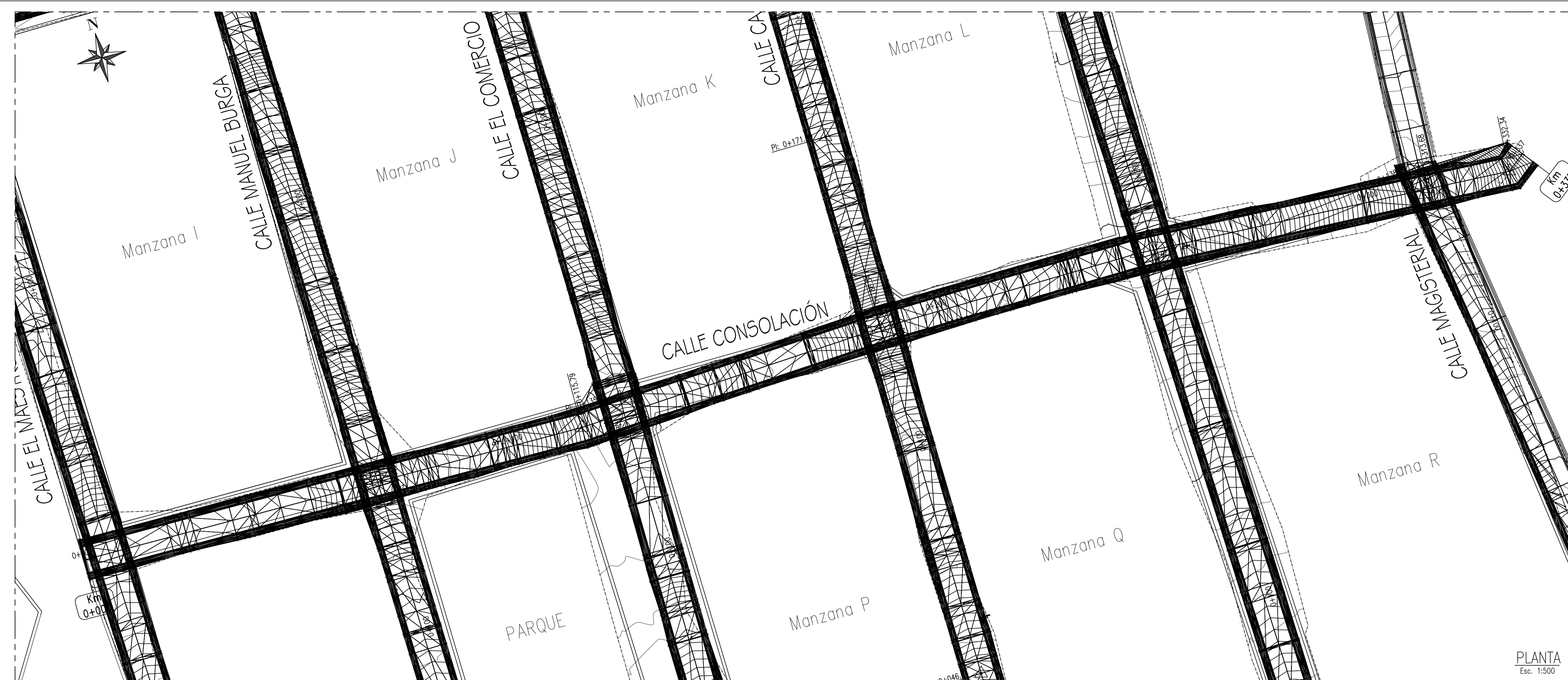
PROYECTO:

**"EVALUACIÓN
DE LA RED DE
DRENAJE
PLUVIAL EN
EL DISTRITO
DE
YAUYUCAN,
PROVINCIA DE
SANTA CRUZ,
DEPARTAMENTO
DE
CAJAMARCA
2019"**

ORIENTACIÓN:



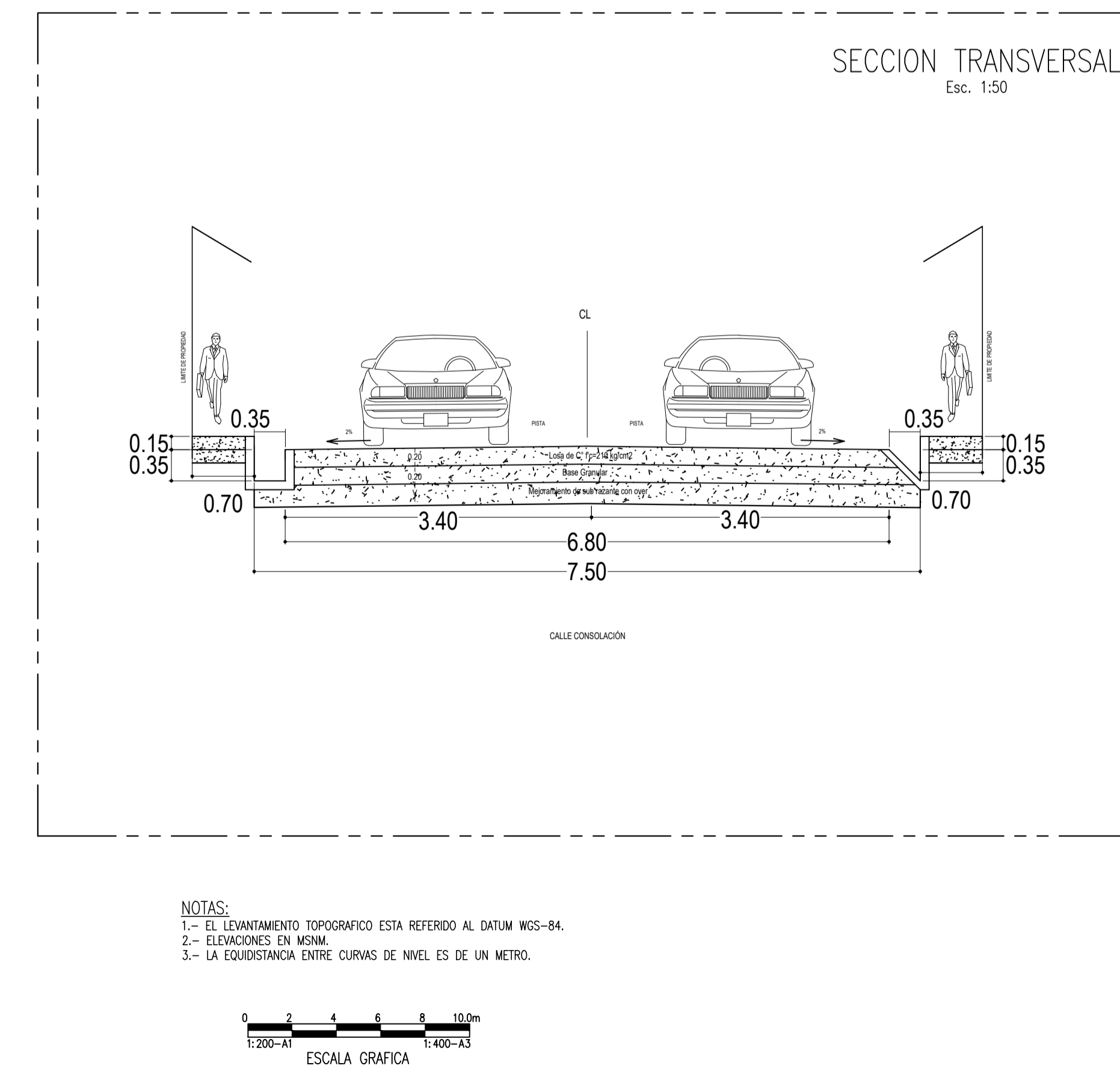
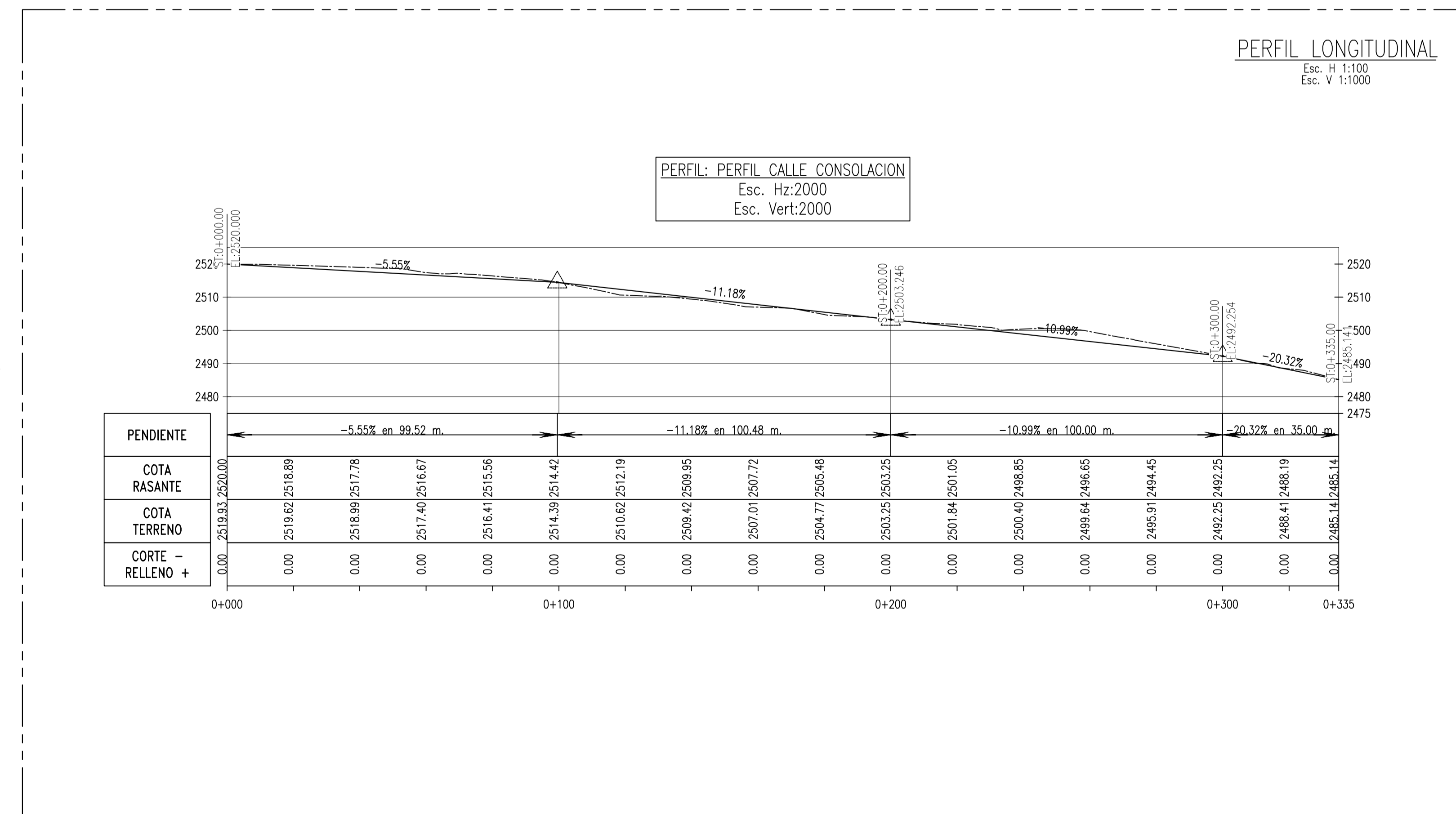
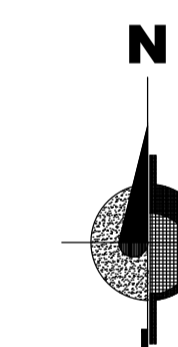




PROYECTO:

"EVALUACIÓN
DE LA RED DE
DRENAJE
PLUVIAL EN
EL DISTRITO
DE
YAUUCAN,
PROVINCIA DE
SANTA CRUZ,
DEPARTAMENTO
DE
CAJAMARCA
2019"

ORIENTACIÓN:



PLANO:
 PLANTA - PERFIL Y
 SECCION
 TRANSVERSAL DE
 CALLE CONSOLACION

V° B°
 MG. ING. WILMER MOISES ZELADA ZAMORA

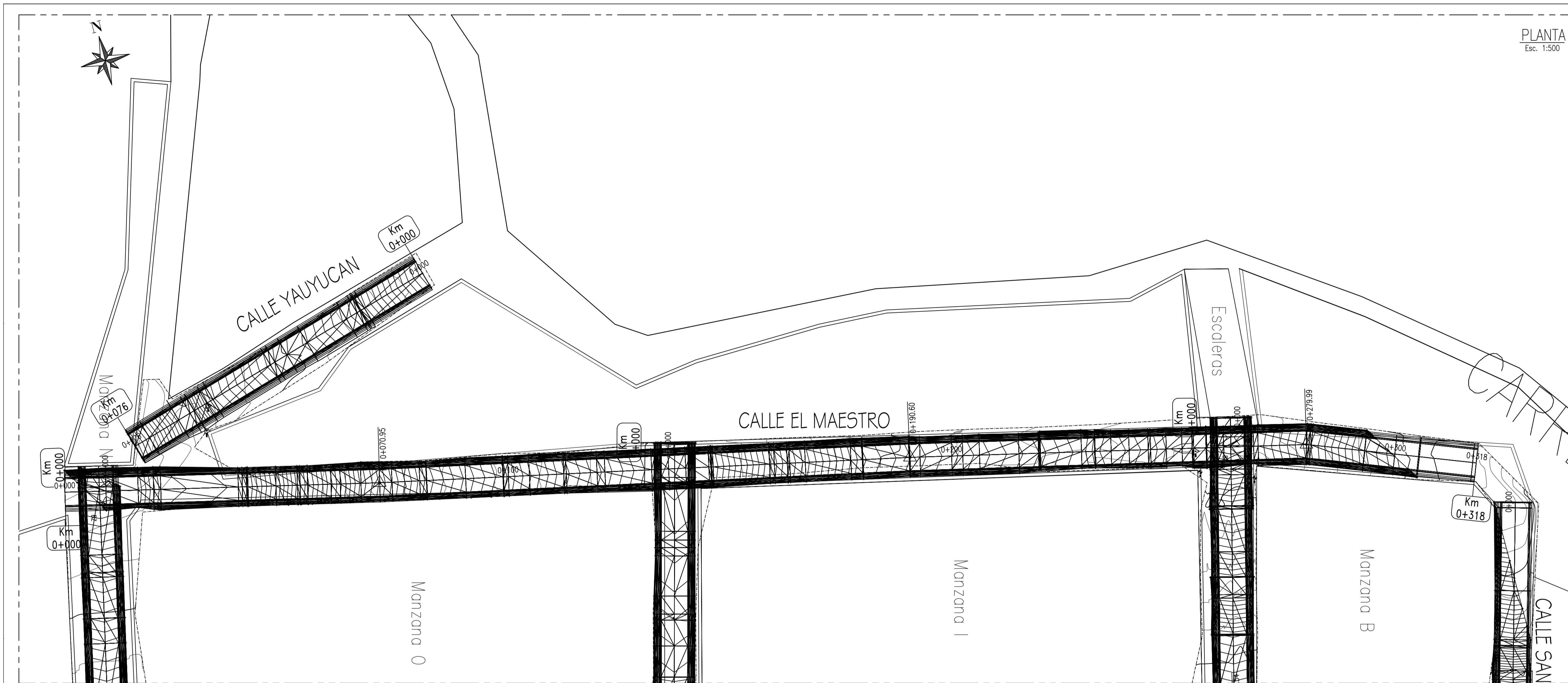
OBSERVACIONES:

ESCALA: INDICADA
 FECHA: 11/2019

DIBUJADO: K.F.C.M

LAMINA:
PP - 06

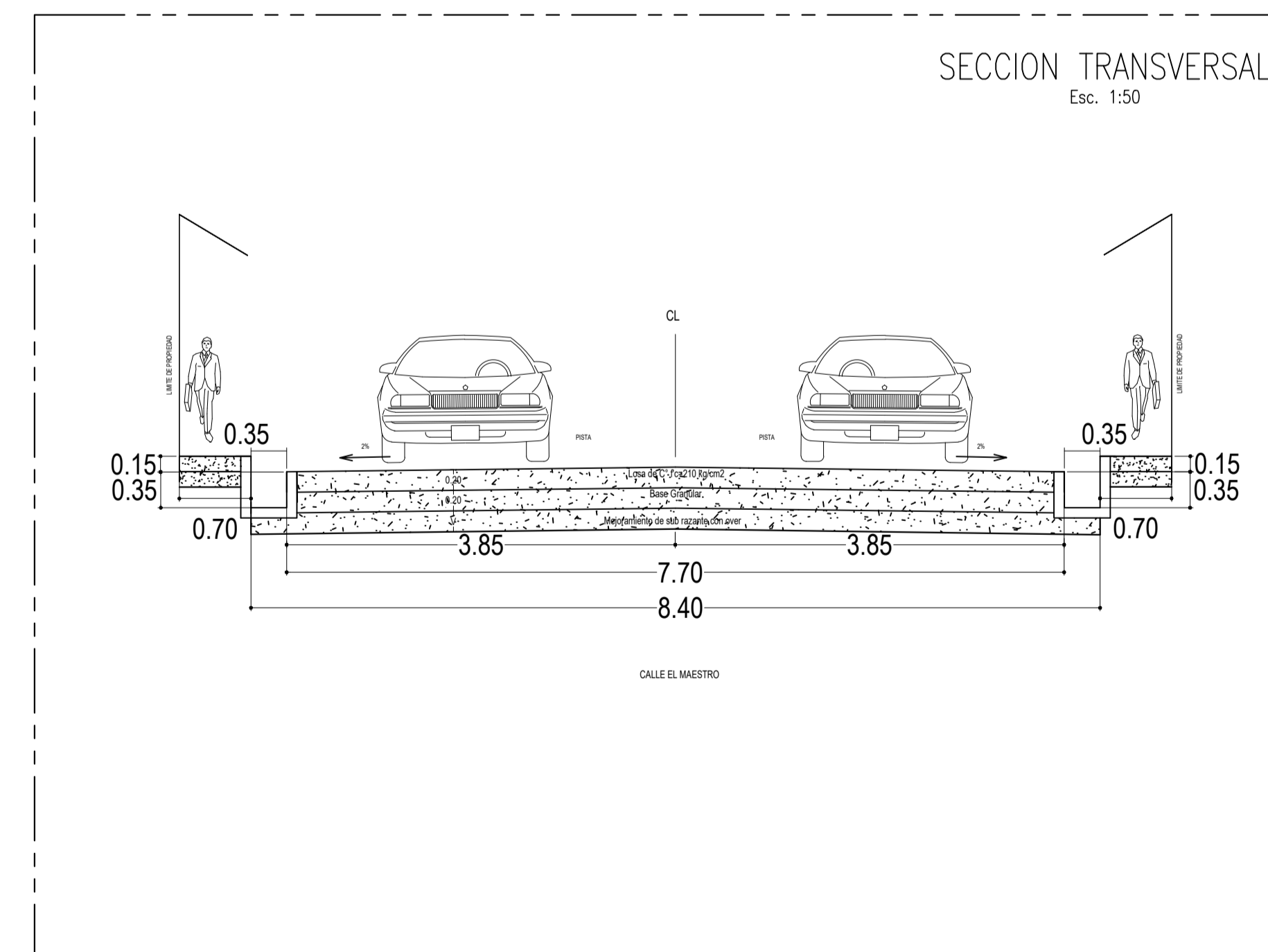
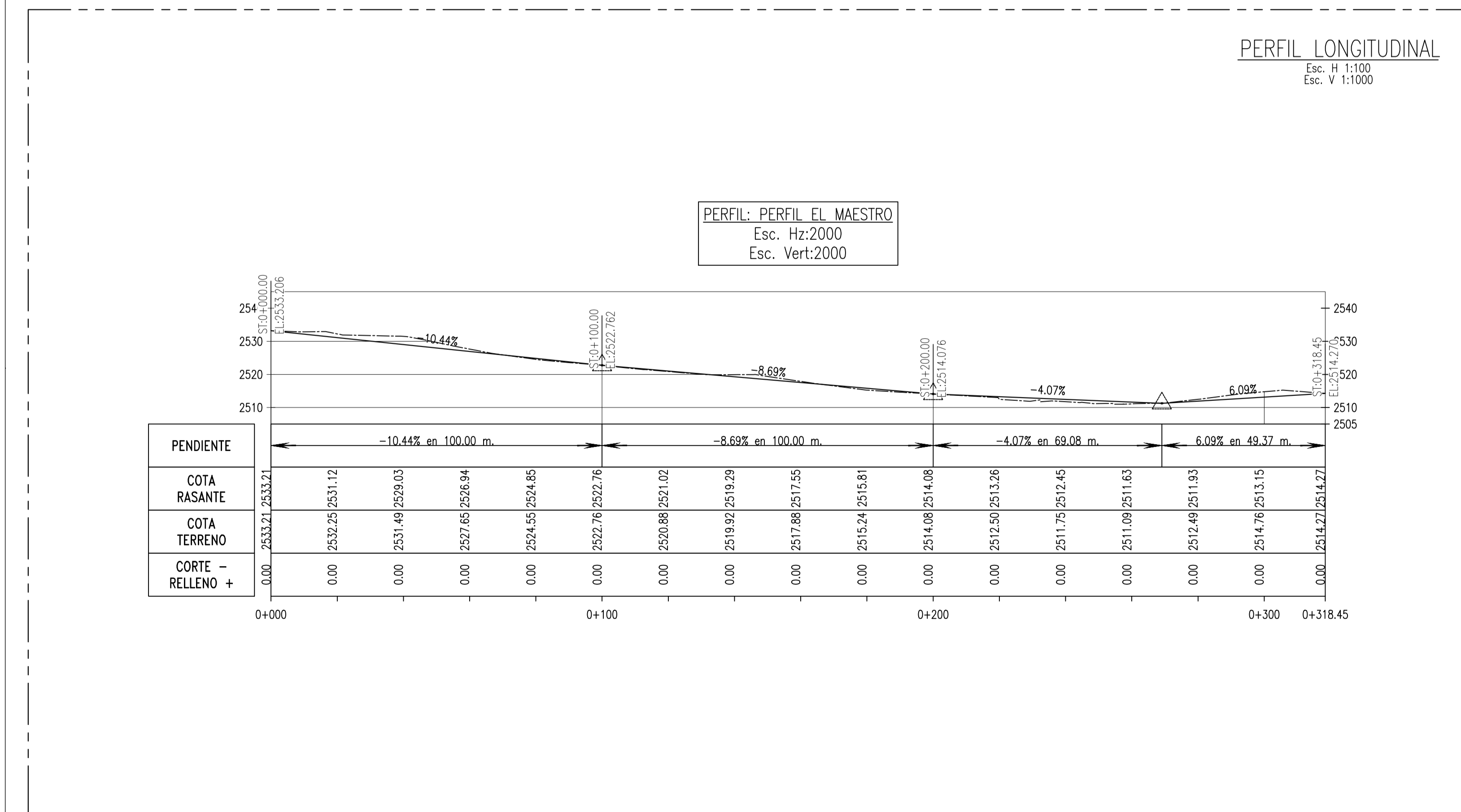
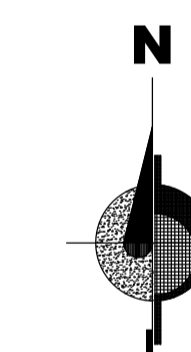
ALUMNO:
 KARLA FIORELLA CORONEL MIRE



PROYECTO:

**"EVALUACIÓN
DE LA RED DE
DRENAJE
PLUVIAL EN
EL DISTRITO
DE
YAUYUCAN,
PROVINCIA DE
SANTA CRUZ,
DEPARTAMENTO
DE
CAJAMARCA
2019"**

ORIENTACIÓN:



NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.



PLANO:

PLANTA - PERFIL Y
SECCION
TRANSVERSAL DE
CALLE EL MAESTRO

V° B°

MG. ING. WILMER MOISES ZELADA ZAMORA

OBSERVACIONES:

ESCALA: INDICADA

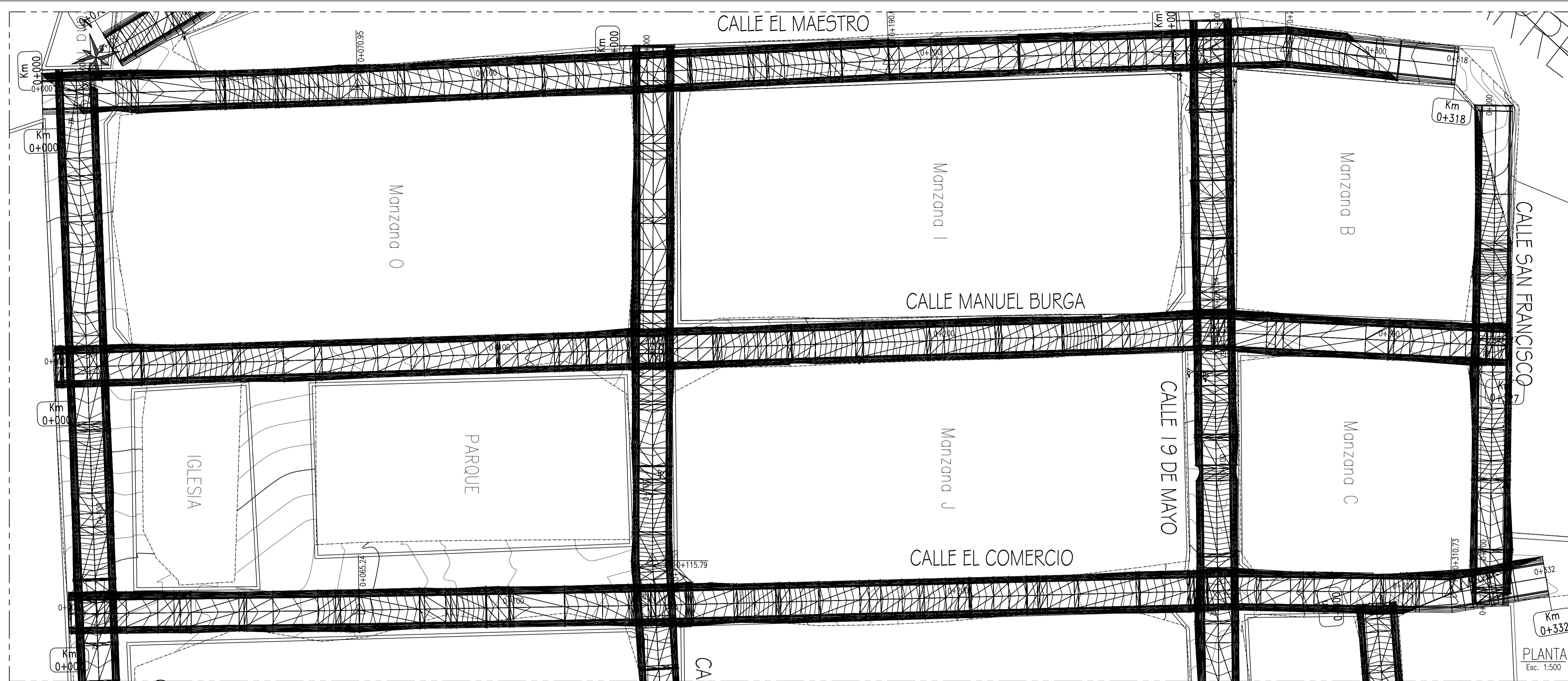
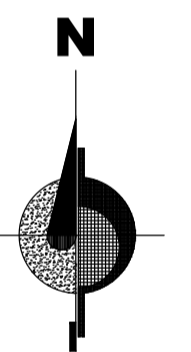
FECHA: 11/2019

DIBUJADO: K.F.C.M

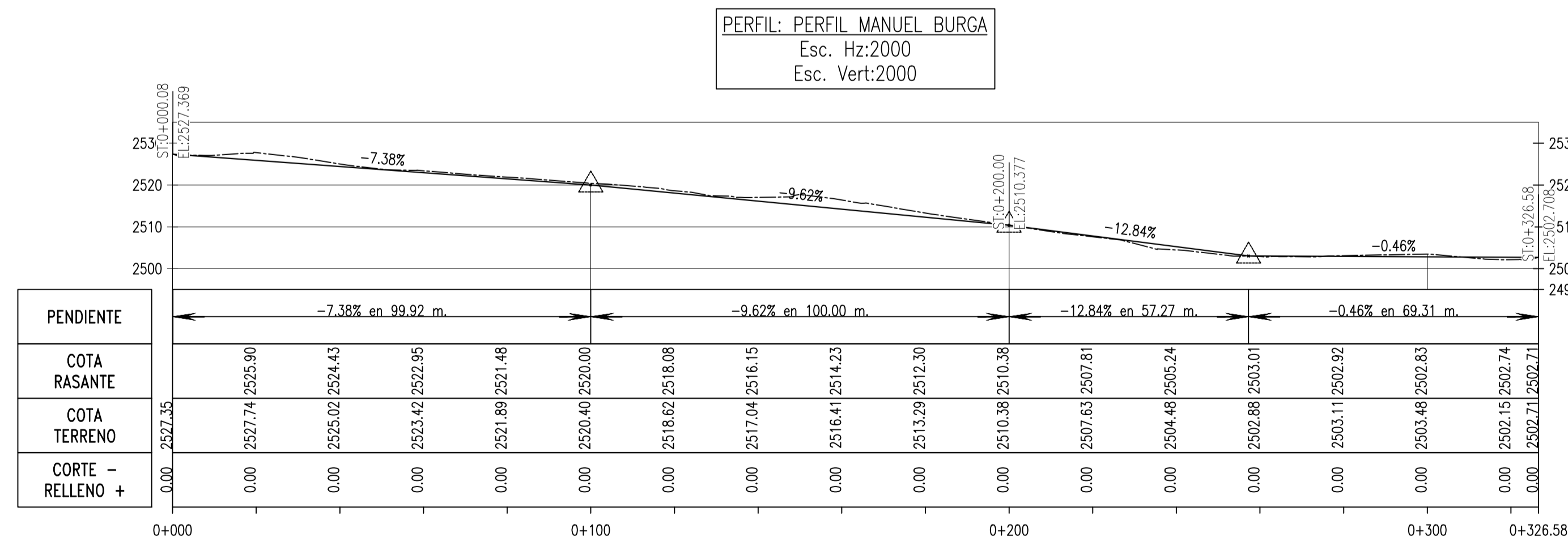
LÁMINA:

PP - 07

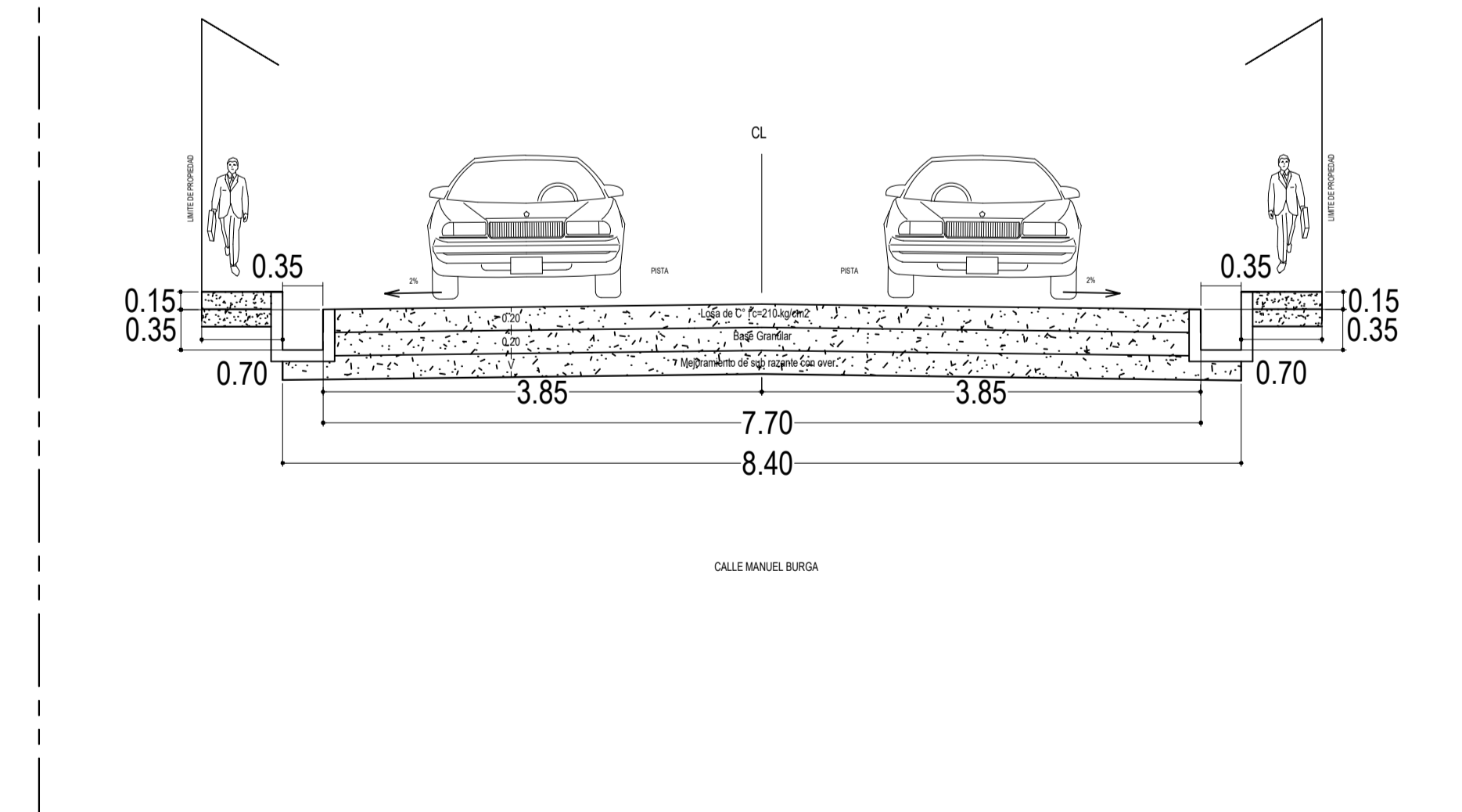
ALUMNO: KARLA FIORELLA CORONEL MIRE



PERFIL LONGITUDINAL
Esc. H: 1:100
Esc. V: 1:1000



SECCION TRANSVERSAL
Esc. 1:50



NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.



ALUMNO:
KARLA FIORELLA CORONEL MIRES

PLANO:
PLANTA - PERFIL Y SECCION TRANSVERSAL DE CALLE MANUEL BURGA

ASESOR:
MG. ING. WILMER MOISES ZELADA ZAMORA

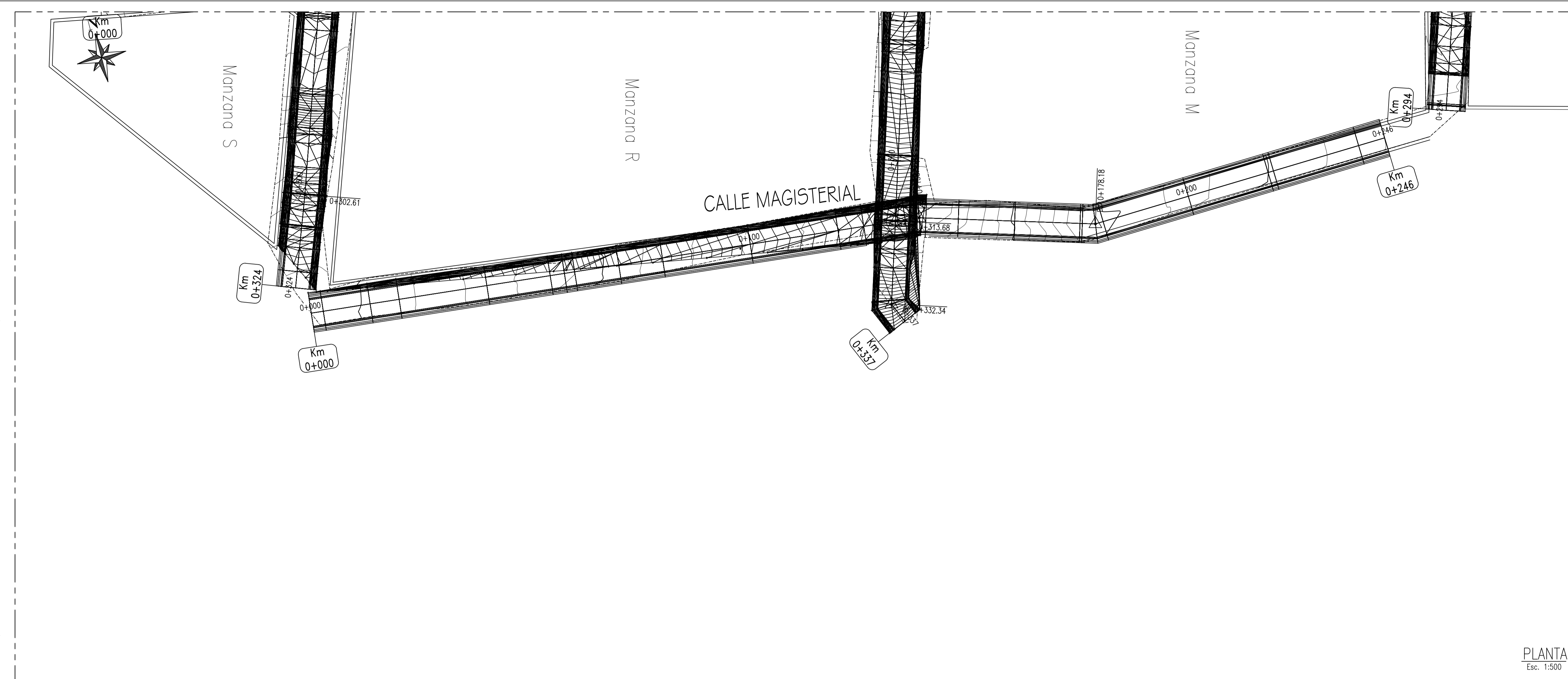
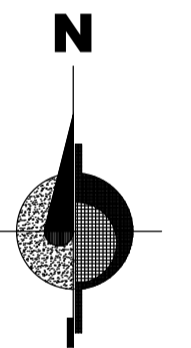
OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

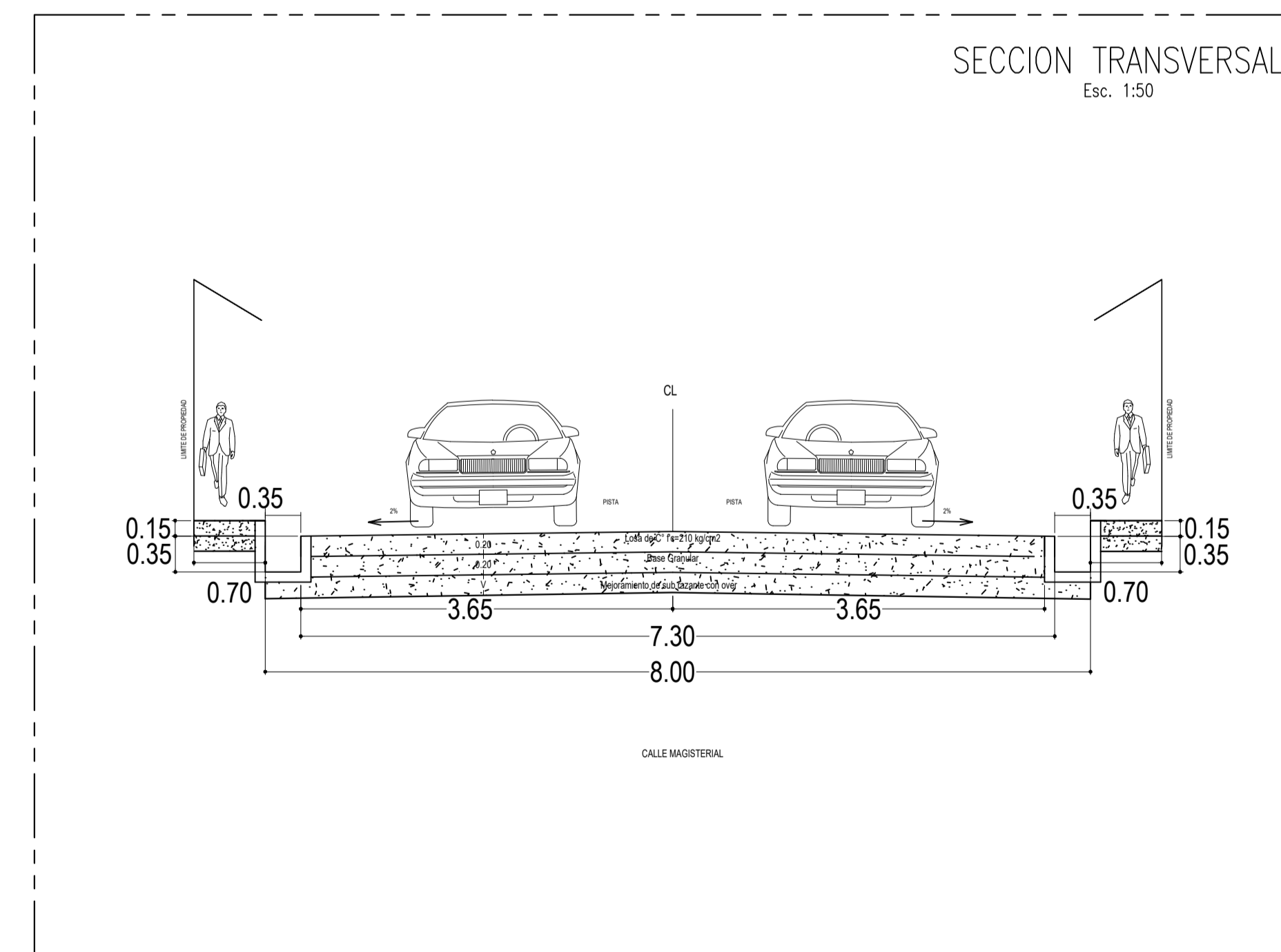
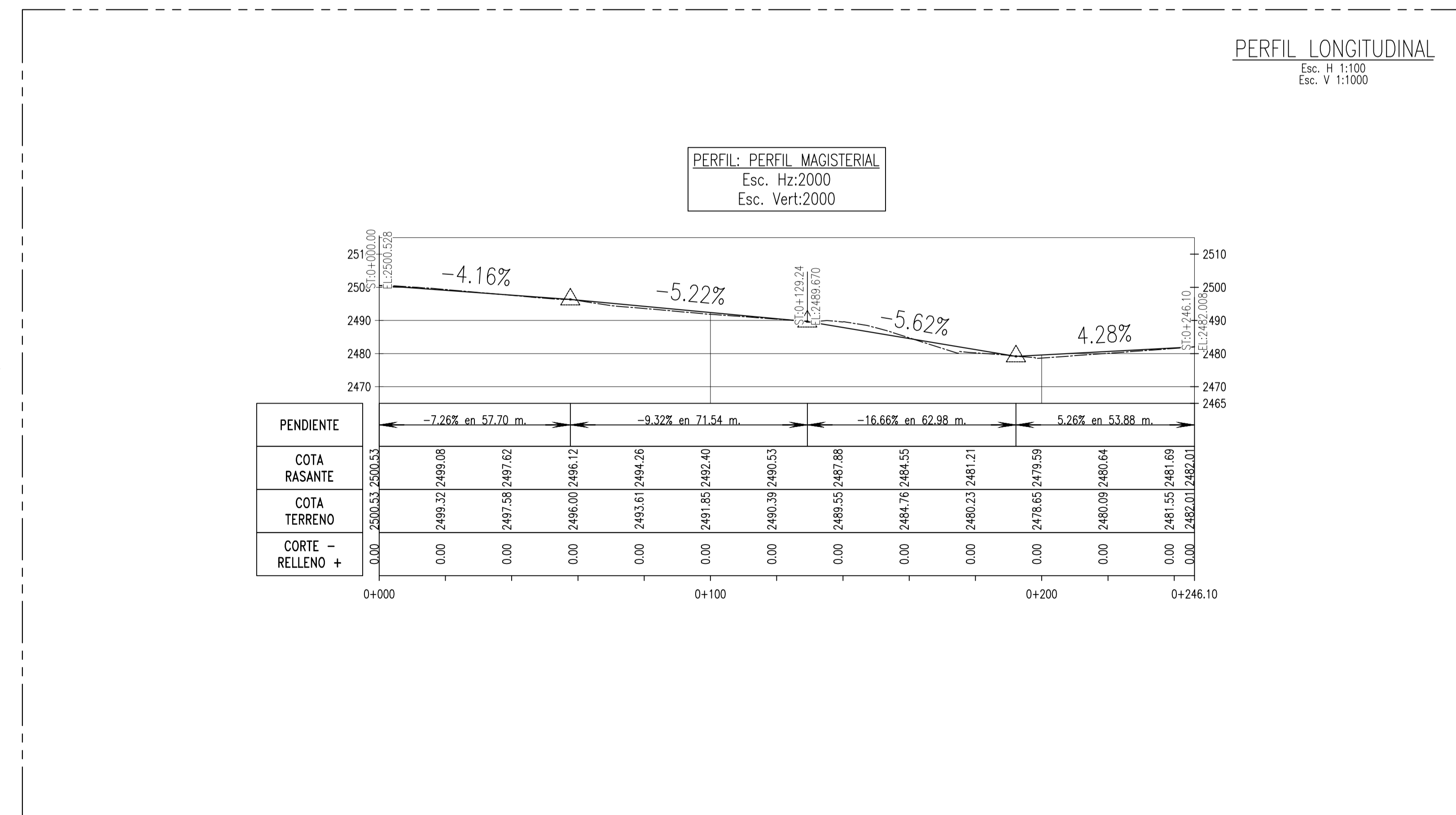
FECHA:
11/2019

DIBUJADO:
K.F.C.M

LÁMINA:
PP - 08



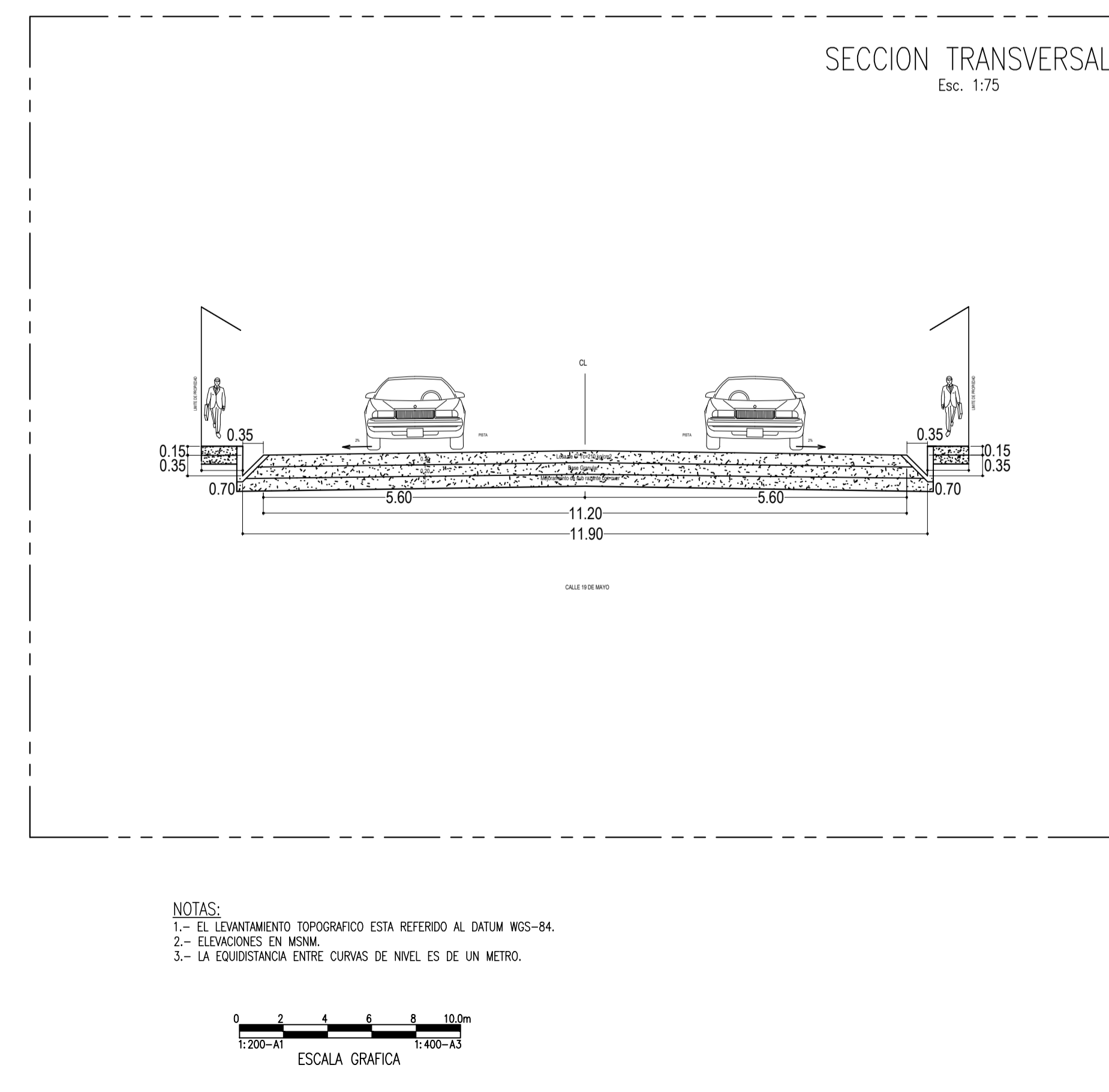
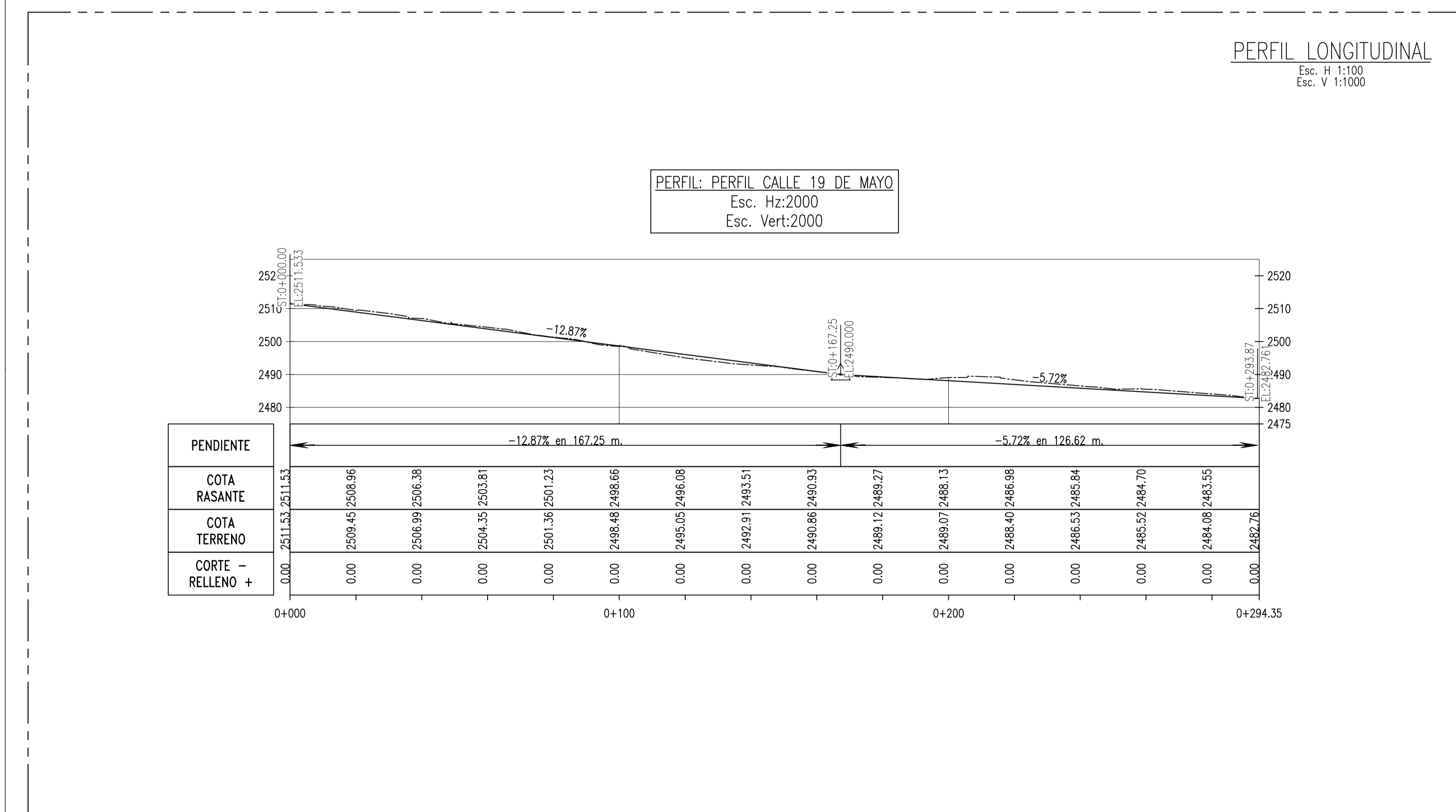
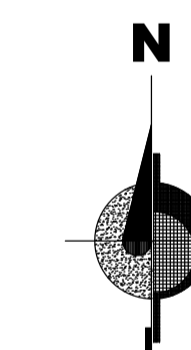
PLANTA
Esc. 1:500



SECCION TRANSVERSAL
Esc. 1:50

NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.





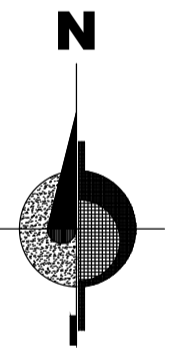
ALUMNO:
KARLA FIORELLA CORONEL MIRES

PLANO:	PLANTA - PERFIL Y SECCION TRANSVERSAL DE CALLE 19 DE MAYO
ASESOR:	MG. ING. WILMER MOISES ZELADA ZAMORA
OBSERVACIONES:	
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	11/2019
DIBUJADO:	K.F.C.M
LÁMINA:	PP - 10

PROYECTO:

**"EVALUACIÓN
DE LA RED DE
DRENAJE
PLUVIAL EN
EL DISTRITO
DE
YAUUCAN,
PROVINCIA DE
SANTA CRUZ,
DEPARTAMENTO
DE
CAJAMARCA
2019"**

ORIENTACIÓN:



PLANO:

PLANTA - PERFIL Y
SECCION
TRANSVERSAL DE
CALLE EL COMERCIO

V° B°

MG. ING. WILMER MOÍSES ZELADA ZAMORA

OBSERVACIONES:

ESCALA:
INDICADA

FECHA:
11/2019

DIBUJADO:
K.F.C.M

LÁMINA:

PP - 12

ALUMNO:

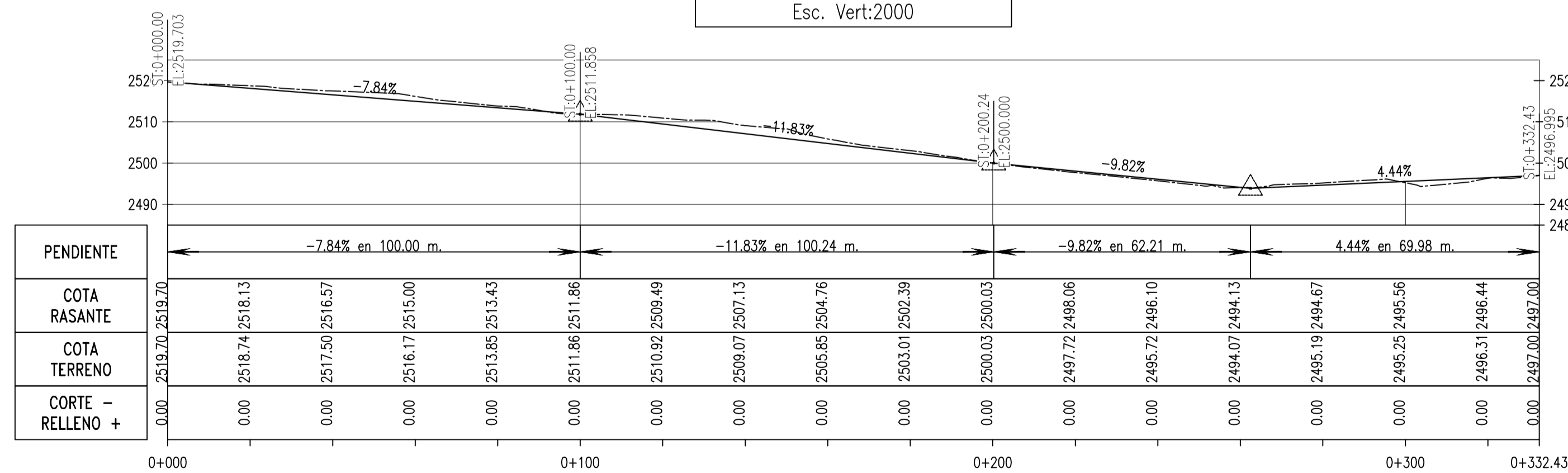
KARLA FIORELLA CORONEL MIRES



PERFIL LONGITUDINAL

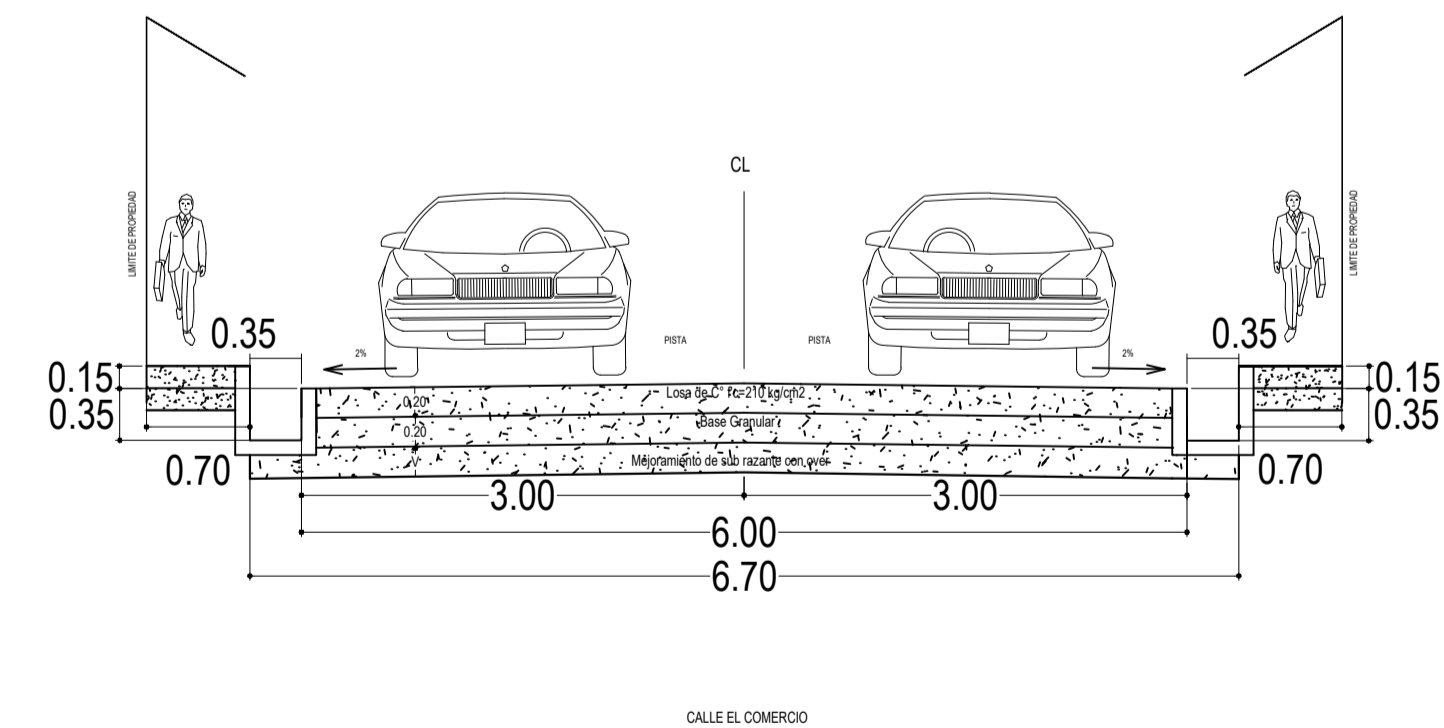
Esc. H: 1:100
Esc. V: 1:1000

PERFIL: PERFIL CALLE EL COMERCIO
Esc. H: 2000
Esc. V: 2000



SECCION TRANSVERSAL

Esc. 1:50



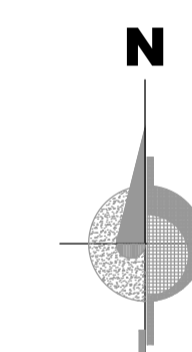
NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.



PROYECTO:

**"EVALUACIÓN
DE LA RED DE
DRENAJE
PLUVIAL EN
EL DISTRITO
DE
YAUUCAN,
PROVINCIA
DE SANTA
CRUZ,
DEPARTAMENTO
DE
CAJAMARCA
2019"**

ORIENTACIÓN:



ALUMNO:
KARLA FIORELLA CORONEL MIRES

PLANO:

PLANO DE
CUENCA
HIDROLÓGICA DEL
PROYECTO

ASESOR:

MG. ING. WILMER MOÍSES ZELADA ZAMORA

OBSERVACIONES:

ESCALA: 1/2500

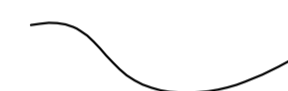
FECHA: 11/2019

DIBUJADO:
K.F.C.M



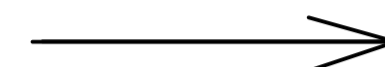




LÁMINA:

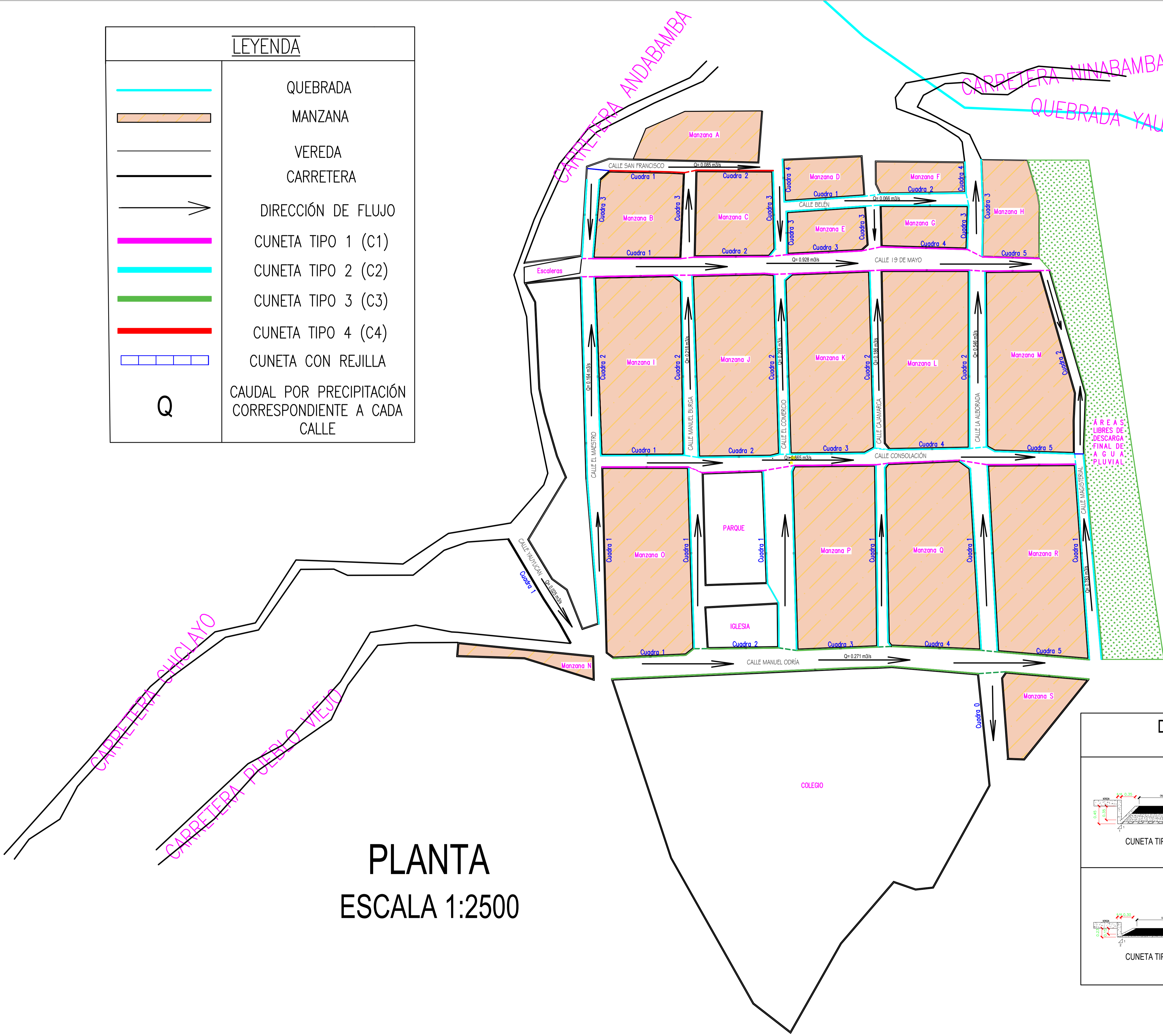
PH - 01

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E HIDROLÓGICAS	Cuenca
ÁREA DE CUENCA (km ²)	0.69
PERÍMETRO DE CUENCA (km ²)	3.43
COTA MÁXIMA DE CUENCA (m.s.n.m)	2700.00
COTA MÍNIMA DE CUENCA (m.s.n.m)	2430.00
LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (km)	1.03
PENDIENTE PROMEDIO CUENCA (%)	25.11
CAUDAL MÁXIMO DE CUENCA (m ³ /s) Volumen de Agua/Tiempo de concentración	11.05
CAUDAL MÁXIMO DE CUENCA (m ³ /s) Método Racional	6.08

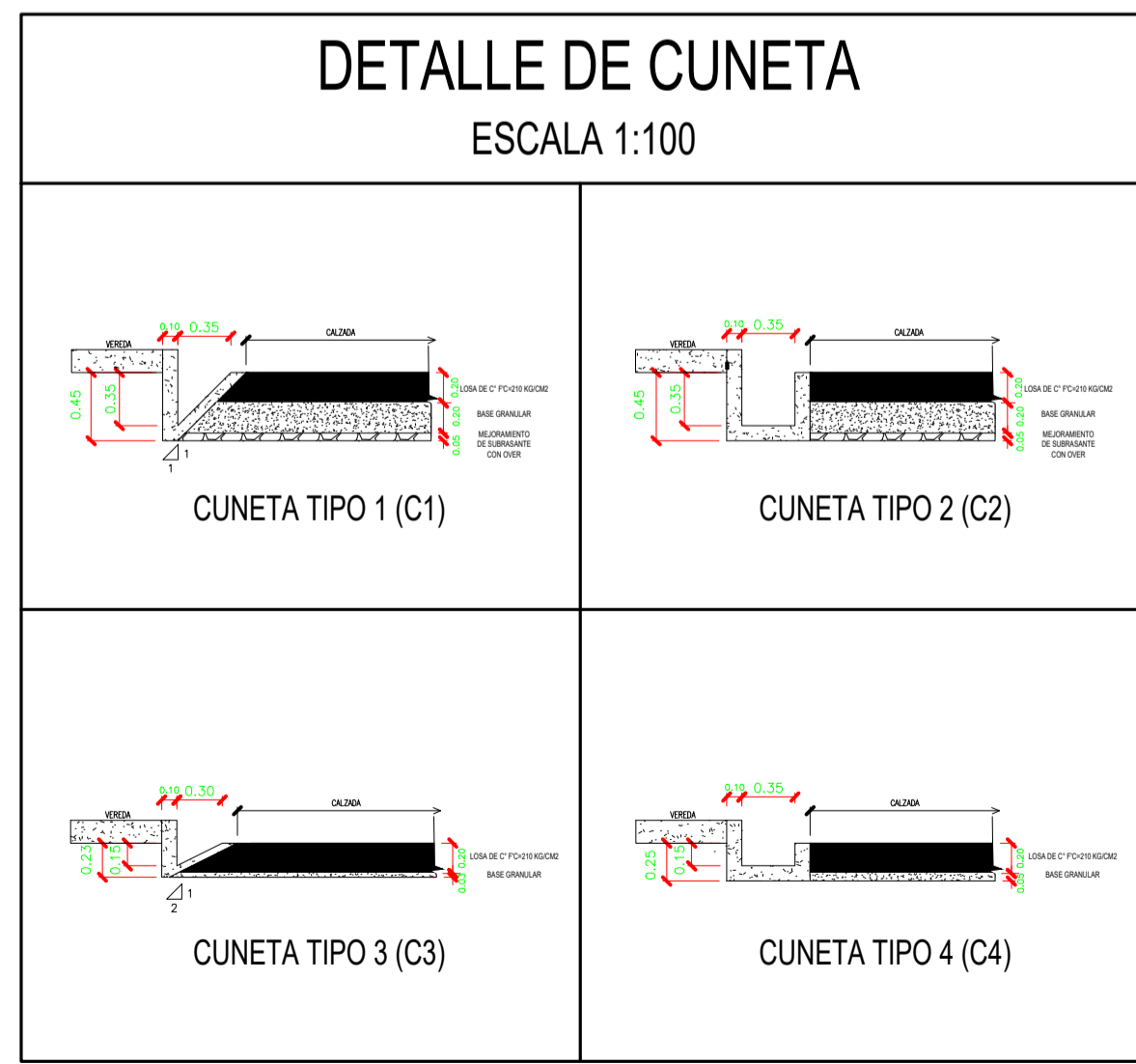
LEYENDA	
	Cotas en m.s.n.m












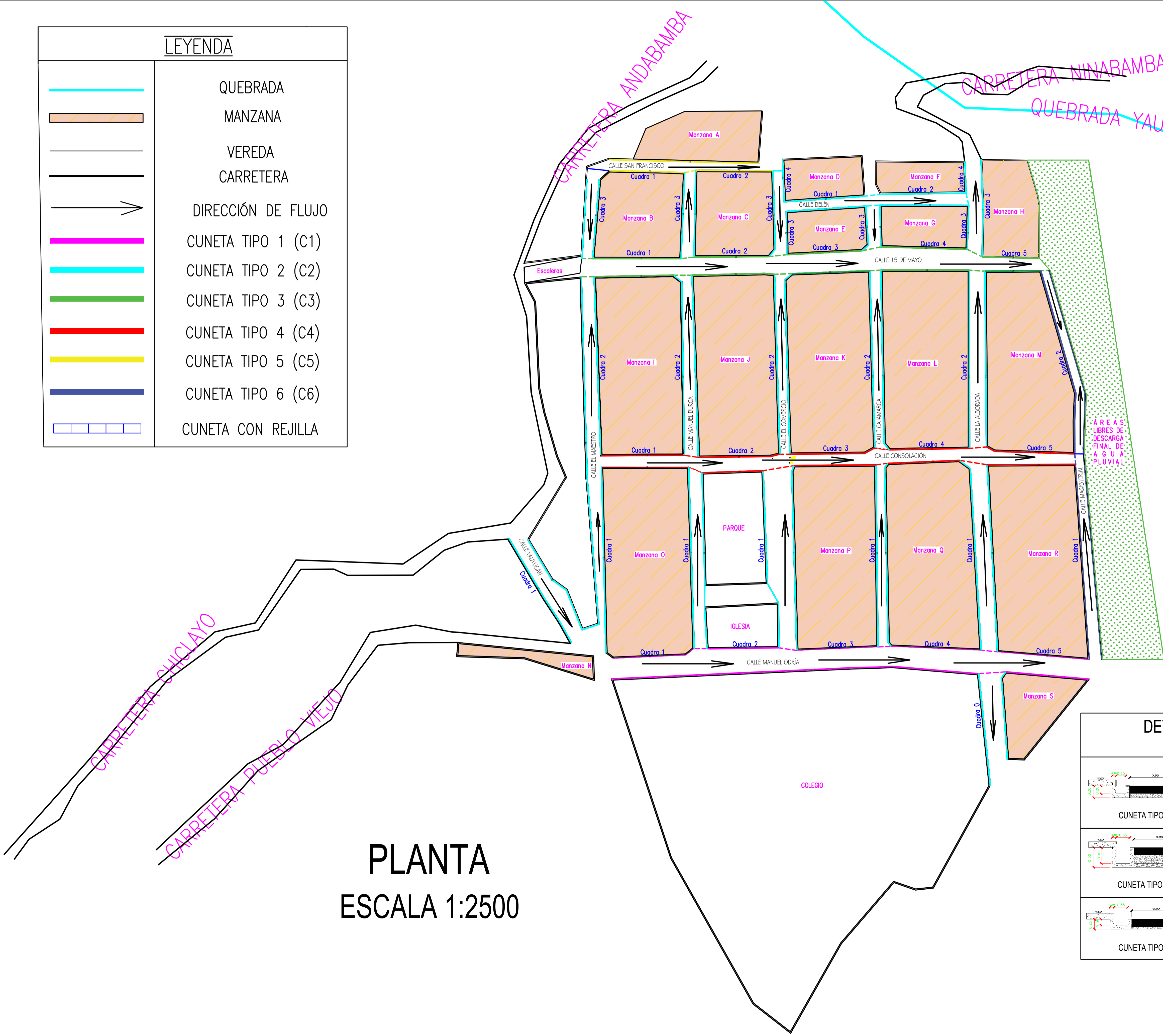
LEYENDA	
	QUEBRADA
	MANZANA
	VEREDA
	CARRETERA
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	CUNETA TIPO 1 (C1)
	CUNETA TIPO 2 (C2)
	CUNETA TIPO 3 (C3)
	CUNETA TIPO 4 (C4)
	CUNETA CON REJILLA
Q	CAUDAL POR PRECIPITACIÓN CORRESPONDIENTE A CADA CALLE



PLANTA
ESCALA 1:2500



LEYENDA	
	QUEBRADA
	MANZANA
	VEREDA
	CARRETERA
	DIRECCIÓN DE FLUJO
	CUNETA TIPO 1 (C1)
	CUNETA TIPO 2 (C2)
	CUNETA TIPO 3 (C3)
	CUNETA TIPO 4 (C4)
	CUNETA TIPO 5 (C5)
	CUNETA TIPO 6 (C6)
	CUNETA CON REJILLA



PLANTA
ESCALA 1:2500

