

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Un diseño es el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el objeto de determinar un dispositivo, un proceso o un sistema con detalles suficientes que permitan su realización.

La localidad de Padcaya se encuentra en el Departamento de Tarija en la Provincia Arce la cual posee dos secciones Padcaya y Bermejo, el municipio de Padcaya cuenta con 92 comunidades por lo que existe un importante flujo vehicular que circula por Padcaya, lo que hace necesario que sus calles estén en buenas condiciones; sin embargo, las calles son de pavimento rígido, flexible, empedrado, de tierra o de lozas, los cuales presentan baches donde junta agua y se forman lodazales en época de lluvia, por lo que se vuelven intransitables por el mal estado de las mismas provocando malestar en los habitantes.

En la construcción de pavimentos se debe realizar el mantenimiento requerido cada tiempo que sea necesario, en el caso de no realizarlo el mismo se deteriora y puede llegar a no ser apto para una buena circulación vehicular, en ese caso se realizan evaluaciones tanto superficiales o estructurales para determinar las soluciones necesarias y mejorar la calidad del pavimento.

En los últimos años el factor climático, un diseño deficiente, un volumen mayor de tránsito, defectos en la construcción, o en el caso su remoción para la instalación de los servicios básicos (agua potable, alcantarillado), comenzaron a afectar al pavimento de la localidad de Padcaya dejando a la vista fallas en la calzada que tienen características diferentes afectando a la circulación vial.

En las condiciones que se presenta el pavimento es necesario realizar las evaluaciones tanto superficial como de la estructura, ya que son antiguos y han sufrido un deterioro extremo, con la solución de una propuesta de diseño nuevo de ingeniería para facilitar una adecuada y optima circulación vehicular.

1.2. Justificación

Una de las actuaciones de mayor importancia dentro de la construcción y que tiene la mayor influencia para asegurar el nivel de desarrollo, es la construcción de carreteras.

Las obras de infraestructura vial, como los pavimentos, tienen como principal objetivo lograr un cambio profundo en la vida de las personas, mejorando su calidad de vida, ya que las vías de comunicación son muy esenciales para el desarrollo de una determinada localidad, por lo que permite a las personas desplazarse en menor tiempo y con una mayor calidad y seguridad.

Debido a la importancia y al uso diario, que tienen los sistemas de transporte terrestre se hace necesario tener un sistema que permita cuantificar los daños, que se producen a través del tiempo o por el incremento de las cargas aplicadas a estos pavimentos.

Para poder identificar cual técnica es la más adecuada para mejorar la serviciabilidad del pavimento, se necesita conocer el estado actual en que se encuentra el pavimento a reparar. En el caso que el pavimento se encuentre fallado se debe realizar la reconstrucción que conlleva a un nuevo diseño de pavimento.

Es por esto que se realizará una evaluación superficial, una evaluación estructural para primero determinar el estado actual de las calles y posteriormente realizar el nuevo diseño de ingeniería con sus estudios previos necesarios.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

El diseño de un pavimento es calcular el mínimo espesor necesario de cada una de las capas para que cumplan con cada una de las exigencias teniendo en cuenta los valores económicos de las mismas para lograr la solución técnico-económica más conveniente.

La localidad de Padcaya se encuentra sobre el camino Nacional Ruta N° 1 Tarija-Bermejo, y es un centro poblado intermedio obligado para llegar a distintas comunidades como ser el Santuario de Chaguaya. Tiene aproximadamente 21,2 km de longitud, con la presencia de distintos tipos de pavimentos.

En la actualidad las calles de Padcaya se encuentran en un estado deplorable, por los efectos de la inclemencia del tiempo, el internismo, un diseño deficiente, falta del control al tonelaje de los vehículos pesados o en el caso su remoción para la instalación de los servicios básicos (agua potable, alcantarillado, gas domiciliario) los cuales comenzaron a afectar la calzada de la vía, dejando a la vista fallas que afectan la circulación vial.

1.3.2. Problema de investigación.

¿Es adecuada y óptima la circulación vehicular, así como también el drenaje de las aguas pluviales en las calles de Padcaya?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un nuevo paquete estructural para la zona central de la localidad de Padcaya, a través de una previa evaluación superficial y estructural de las calles mediante los métodos PCI, Viga Benkelman y los estudios topográficos y geotécnicos, para proporcionar una plataforma funcional que permita un adecuado flujo vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los estudios previos como el estudio de geotecnia, topografía e hidrología que son necesarios para los diseños.
- Estipular el tipo de tránsito, volumen y las cargas a las que el pavimento será sometido durante el periodo de diseño.
- Realizar el diseño geométrico.
- Determinar el estado actual de la zona más afectada de las calles de Padcaya, mediante la evaluación superficial y evaluación estructural.
- Ejecutar el diseño del paquete estructural mediante el método AASHTO-93.
- Efectuar el diseño pluvial.
- Elaborar el presupuesto para el diseño.
- Establecer una especificación técnica del pavimento diseñado.

- Presentar los planos del diseño.

1.5. Formulación de la hipótesis

1.5.1. Hipótesis

Al definir los tipos de pavimentos de las calles de Padcaya y aplicar los parámetros de optimización de calidad y costo, se podrá lograr un diseño óptimo que cumpla con los requerimientos técnicos y económicos.

1.5.2. Identificación de variables

- **Variable independiente**

Tipo de pavimentos

Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas en materiales procesados por encima del terreno natural con la finalidad de distribuir las cargas aplicadas por un vehículo en la subrasante. Existen tres tipos de pavimentos Flexible (asfalto), concreto asfáltico, superficies estabilizadas con asfalto, superficie asfáltica de uso ligero; Rígido (concreto); y Compuesto (ambos), rehabilitación concreta con asfalto, rehabilitación asfalto con concreto.

- **Variable dependiente**

Parámetros de optimización de pavimentos

Existen diferentes parámetros de optimización de pavimentos los cuales son considerados para determinar la mejor alternativa de diseño, los más utilizados son el costo y la calidad, esto quiere decir que se considera la mejor alternativa con un precio adecuado y con materiales eficaces para su buena utilización.

1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla 1.1: Conceptualización y operacionalización de las variables

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|--|---|-----------|---|---|
| Tipo de pavimentos | Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas en materiales procesados por encima del terreno natural con la finalidad de distribuir las cargas aplicadas por un vehículo en la subrasante. existen tres tipos de pavimentos flexible (asfalto), rígido (concreto), y compuesto (ambos). | Flexible | PCI, Viga Benkelman. | Evaluación superficial y estructural |
| | | Rígido | PCI, Viga Benkelman | Evaluación superficial y estructural. |
| Parámetros de optimización de pavimentos | Existen diferentes parámetros de optimización de pavimentos que son considerados para determinar la mejor alternativa de diseño, los más utilizados son el costo y la calidad. | Costo | Moneda nacional (bolivianos) | Precios unitarios, presupuesto general. |
| | | Calidad | Documentación, especificaciones técnicas. | Elaboración de las especificaciones del proyecto. |

Fuente: Elaboración propia

1.6. Diseño metodológico de la investigación

1.6.1. Identificación del tipo de diseño de investigación

Investigación descriptiva:

Considerada, cuando se desea describir una realidad mediante pronósticos, diseños, y aplicaciones. Si la investigación se trata de la descripción de un caso específico, no es necesario la formulación de la hipótesis. Las hipótesis, sólo se formula cuando se quiere pronosticar un hecho o un caso, o cuando se quiere solucionar un problema.

La investigación descriptiva se centra en recopilar información y caracterizar un caso específico, lo cual se ajusta a la situación que se tiene.

1.6.2. Unidades de estudio y decisión muestra

1.6.2.1. Unidad de estudio o muestreo

Tabla 1.2: Unidad de estudio o muestreo

| Pregunta de investigación | Objeto de investigación | Unidad de muestreo |
|--|---------------------------------|--|
| ¿Es adecuada y óptima la circulación vehicular, como así también el drenaje de las aguas pluviales en las calles de Padcaya? | Diseño de las calles de Padcaya | <ul style="list-style-type: none"> ○ Calles o vía urbana ○ Alternativas de diseño. |

Fuente: Elaboración propia

1.6.2.2. Población y muestra.

- Población

Número de calles a evaluar, existen diferentes tipos de pavimentos, se separan las calles por tipo de pavimento y se determina cuales se van a evaluar.

- Muestra

El tamaño de la muestra es el mismo tamaño de la población ya que se cuentan con pocos puntos de muestras para su estudio, esto quiere decir que se evaluarán todas las calles con asfalto tanto flexible como rígido.

1.6.2.4. Selección de las técnicas de muestreo

Se refiere a la forma procedimental que se utiliza para reclutar a los elementos de la muestra, para ello existen dos métodos: El probabilístico y el no probabilístico, cuyo uso

puede darse en cualquier tipo de investigación ya sea del enfoque cualitativo o cuantitativo.

Según el tema se determina utilizar el método Probabilístico. Cuando se usa el término probabilístico en una muestra, significa que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, para ello los elementos deben ser sometidos a procedimientos que define el investigador, de acuerdo a la técnica que ha seleccionado en la definición de su muestra.

1.7. Alcance

El alcance de este proyecto contempla:

- Realizar un estudio geotécnico de la zona.
- Hacer un estudio de Hidrología con la estación más cercana.
- Hacer un levantamiento topográfico.
- Determinar el estudio de tráfico en la zona.
- Realizar el diseño geométrico.
- Evaluación superficial de las calles según el método PCI.
- Evaluación estructural de las calles mediante el método de la Viga Benkelman.
- Determinación del estado actual del pavimento de la zona más afectada de las calles de Padcaya.
- Estimar todos los componentes para el diseño estructural.
- Diseño estructural del pavimento de las calles de Padcaya.
- Realizar el diseño de drenaje pluvial.
- Precios unitarios.
- Costos del diseño.
- Especificaciones técnicas.
- Planos.

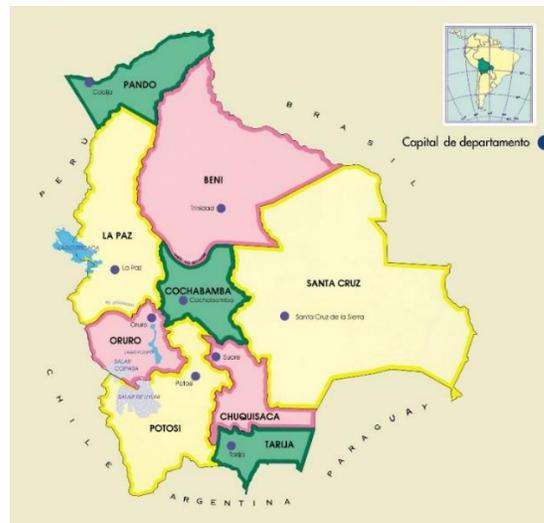
CAPÍTULO II

DISEÑO DE INGENIERÍA

2.1. Datos generales

2.1.1. Ubicación geográfica

Figura 2.1: Localización del proyecto a nivel Nacional



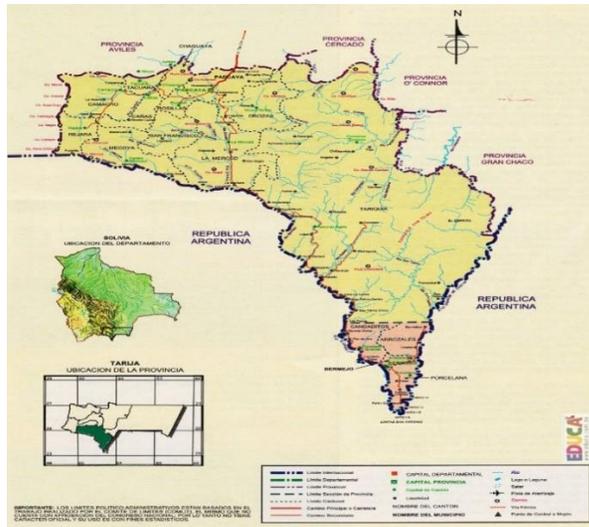
Fuente: Latitud Bolivia, Noticias de actualidad de Bolivia y el mundo (27 de junio de 2021)

Figura 2.2: Localización del proyecto a nivel departamental



Fuente: Opinión, Diario de circulación Nacional (14 de abril de 2014)

Figura 2.3: Localización del proyecto a nivel provincial



Fuente: Educa.com.bo

Figura 2.4: Imagen satelital del Municipio de Padcaya



Fuente: Google Earth Pro

2.1.2. Latitud y longitud

El departamento de Tarija se ubica al extremo sur de Bolivia, el mismo consta de una superficie de 37.623 km², su proporcionalidad con el resto del país se puede percibir de

acuerdo al siguiente cuadro, que corresponde al mapa de ubicación geográfica, el mismo que ilustra la relación con respecto al espacio territorial nacional.

Geográficamente se encuentra dividido en seis provincias: Méndez, Cercado, Avilés, O'Connor, Arce y Gran Chaco. La provincia Arce política y administrativamente consta de dos secciones municipales: Padcaya y Bermejo.

La primera sección de la provincia Arce que corresponde al Municipio de Padcaya, se encuentra ubicada entre los paralelos: 22°35'51" y 21°46'08" latitud Sur, y entre los meridianos: 65°05'35" y 64°04'39" de longitud oeste. (Padcaya, 2022)

2.1.3. Clima

En el Municipio de Padcaya se presentan distintos tipos climáticos, determinados por la Orografía, altitud sobre el nivel del mar principalmente. En general, el verano se caracteriza principalmente por una temperatura y humedad relativa alta y masas de aire inestables, produciéndose precipitaciones aisladas de alta intensidad y corta duración. Por otro lado, el invierno se caracteriza por temperaturas y humedad relativamente bajas y la ausencia de precipitaciones, asociadas a la llegada de frentes fríos provenientes del Sur, llamados 'Surazos', que traen consigo masas de aire frío, dando lugar a veces a precipitaciones de muy baja intensidad y de larga duración. (Padcaya, 2022)

2.1.4. Suelos

Estudio de Geología para Ingeniería y Geotecnia. sobre la ruta seleccionada o posibles rutas a tener en cuenta para el trazado de una carretera se debe realizar en estudio geológico con el fin de obtener la ubicación de posibles fallas o problemas de estabilidad que se puedan presentar durante o después de la construcción de esta.

Los suelos que caracterizan al paisaje del territorio Municipal de la primera Sección de la Provincia Arce, se han clasificado según la leyenda mundial de suelos de la FAO (1990) y representado en unidades cartográficas a asociaciones de los principales suelos, íntimamente relacionadas al paisaje fisiográfico y clima. Las características físicas de los suelos varían de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, pero de manera general, se puede decir que los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tienen un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de

afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada a mediana, los suelos ubicados en la zona de pie de monte y terrazas aluviales son de moderadamente profundos a profundos, la textura es de media a liviana en los horizontes superiores y más pesada en los horizontes profundos, particularmente en la terrazas subcrecientes.

Se presentan en paisajes de origen fluvioacustre, en las comunidades de Cabildo, Huacanqui y Padcaya, los suelos son profundos, la textura varía de franco a arcillosa, con fertilidad natural moderada. (Padcaya, 2022)

2.1.5. Referencia del estado actual de las calles

En la localidad de Padcaya se está realizando el proyecto de la implementación de los servicios básicos como ser agua potable, gas domiciliario, alcantarillado sanitario y pluvial. Como ya existen calles asfaltadas se realizó la extracción de parte de la capa de rodadura para la colocación de las tuberías del proyecto, después de la instalación de la implementación de los servicios en el tramo Padcaya Chaguaya se realizó la extracción del empedrado, del pavimento flexible y del pavimento rígido que quedaba en ese tramo para comenzar con la compactación de las calles para su mejor circulación.

Figura 2.5: Imágenes de lugares donde se encuentran trabajando para la realización de proyecto de la instalación de servicios básicos



Fuente: Elaboración propia

2.1.4. Tipos de pavimentos que existen actualmente en el Municipio

Figura 2.6: Pavimento Articulado, se encuentra en mayor parte mezclado con el pavimento de asfalto flexible en algunos casos como parche sobre el asfalto flexible.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.7: Pavimento Empedrado, este se presenta mezclado con el pavimento de asfalto flexible.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.8: Pavimento de asfalto flexible, se encuentra en mayor parte del municipio, pero en un sector se presenta en mal estado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.9: Calles de tierra, que se presentan en las calles externas o más alejadas del centro del municipio



Fuente: Elaboración propia

2.1.6. Antecedentes

Las calles en la localidad de Padcaya se encuentran en un deterioro extremo en algunos sectores más que en otros, por diferentes razones, una de ellas es que el pavimento es antiguo y presenta poco mantenimiento y acciones de rehabilitación, otra es que en la localidad sus calles presentan distintos tipos de pavimentos desde asfalto flexible hasta calles sin pavimentos (de tierra), otra también muy importante es que en estos últimos meses se encuentran en el proceso de la realización del proyecto de la instalación de servicios básicos de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial y como en la localidad un porcentaje de las calles ya se encuentran asfaltadas se realizó la remoción de la capa de rodadura para la instalación del mismo; el proyecto se lo está realizando por sectores

en donde en algunas zonas ya se encuentran las calles rehabilitadas parchadas para nivelar nuevamente el pavimento.

2.2. Estudios previos

2.2.1. Estudio de tráfico

Los estudios de tráfico vehicular se realizan con el propósito de obtener datos relacionados con el movimiento de vehículos, sobre puntos o secciones específicas dentro de una red vial. Este estudio es el punto de partida para el conocimiento del comportamiento del tráfico en la localidad de Padcaya. Por medio del cual se registrará la información de la capacidad y calidad del servicio que sus calles ofrecen a los usuarios, así como también otros factores importantes, que servirán de gran utilidad en la investigación de las condiciones de operación que ofrece la infraestructura vial existente. (ABC, Manual de Dispositivos de Control de Tránsito (volumen III))

2.2.1.1. Conteo de tráfico

En los estudios de tráfico, la medición básica más importante es el conteo o aforo vehicular, que es el registro de número de vehículos que pasan por una intersección o en una determinada sección vial. Estos conteos se efectúan para obtener estimaciones del volumen de tráfico, tasa de flujo, densidad y capacidad de tráfico.

El aforo vehicular servirá para obtener información referente a los volúmenes de tráfico que circulan en la zona central del pueblo de Padcaya.

- Conteo manual

El conteo manual es irremplazable ya que con un personal técnico bien capacitado este método es el más efectivo que otros métodos de conteo, este conteo nos proporciona información sobre la composición del tráfico en todos los sentidos.

° Metodología del conteo manual

Primero se realizó la capacitación para determinar la manera de como registrar los vehículos de acuerdo a la clasificación del tipo de vehículos: L= Livianos, B= Buses y C= Camiones (Pesados) los mismos que se registraron en campo según el formulario.

Segundo se determinó el tiempo de conteo, los conteos tuvieron una duración de 11 horas durante seis (6) días (lunes a viernes y sábado), en el siguiente horario De: 7:00am A: 18:00pm. Tercero se implementó equipo necesario para ser usado para el conteo como tablero (apoya manos), lápiz, borrador y el formulario para el registro de vehículos. Cuarto se ubicó a la persona a realizar el conteo en el lugar más estratégico para el conteo manual. Finalmente, estos datos fueron agrupados cada 15 minutos en 4 periodos (1 hora) hallando el volumen horario de mayor tránsito y la cantidad de vehículos mixtos que pasaron. Luego se tomó el volumen máximo vehicular en el periodo de máxima demanda para así calcular el factor de hora pico. Con los aforos completamente consolidados, se suma el 100% de los vehículos, después de esto se determina el porcentaje de autos, buses y camiones.

Figura 2.10: Fotografía del conteo manual de vehículos



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.3: Formulario de registro de procesamiento de datos del conteo manual de tráfico.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------|------------------|-----------|-----------------|-----|------|------|-------|
| Tramo: | | Proyectista: | | | | | | | |
| Tipo de pavimento: | | Ubicación: | | | | | | | |
| Fecha: | | Dia: | | | | | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | Transito mediano | | Transito pesado | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | | | | | | | | |
| | 7:15-7:30 | | | | | | | | |
| | 7:30-7:45 | | | | | | | | |
| | 7:45-8:00 | | | | | | | | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | | | | | | | | |
| | 8:15-8:30 | | | | | | | | |
| | 8:30-8:45 | | | | | | | | |
| | 8:45-9:00 | | | | | | | | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | | | | | | | | |
| | 9:15-9:30 | | | | | | | | |
| | 9:30-9:45 | | | | | | | | |
| | 9:45-10:00 | | | | | | | | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | | | | | | | | |
| | 10:15-10:30 | | | | | | | | |
| | 10:30-10:45 | | | | | | | | |
| | 10:45-11:00 | | | | | | | | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | | | | | | | | |
| | 11:15-11:30 | | | | | | | | |
| | 11:30-11:45 | | | | | | | | |
| | 11:45-12:00 | | | | | | | | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | | | | | | | | |
| | 12:15-12:30 | | | | | | | | |
| | 12:30-12:45 | | | | | | | | |
| | 12:45-13:00 | | | | | | | | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | | | | | | | | |
| | 13:15-13:30 | | | | | | | | |
| | 13:30-13:45 | | | | | | | | |
| | 13:45-14:00 | | | | | | | | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | | | | | | | | |
| | 14:15-14:30 | | | | | | | | |
| | 14:30-14:45 | | | | | | | | |
| | 14:45-15:00 | | | | | | | | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | | | | | | | | |
| | 15:15-15:30 | | | | | | | | |
| | 15:30-15:45 | | | | | | | | |
| | 15:45-16:00 | | | | | | | | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | | | | | | | | |
| | 16:15-16:30 | | | | | | | | |
| | 16:30-16:45 | | | | | | | | |
| | 16:45-17:00 | | | | | | | | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | | | | | | | | |
| | 17:15-17:30 | | | | | | | | |
| | 17:30-17:45 | | | | | | | | |
| | 17:45-18:00 | | | | | | | | |
| trafico diario | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Registro de vehículos

- Registro de Conteos Manuales:

Una vez realizado el conteo manual vehicular en la estación, se comenzó a efectuar la clasificación y procesamiento de la información obtenida en estudio.

Tabla 2.4: Registro del conteo manual día lunes.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------|---------|--------------|-----------------------------|-----|------|------|-----|-------|
| Tramo: | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | univ. Andrea Montero Avalos | | | | | |
| Tipo de pavimento: | pavimento flexible | | | Ubicación: | esquina mercado Evo Morales | | | | | |
| Fecha: | 7/12/2020 | | | Día: | lunes | | | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 31 | 9 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 143 |
| | 7:15-7:30 | 24 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 26 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 21 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 14 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 92 |
| | 8:15-8:30 | 17 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:30-8:45 | 19 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 16 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 18 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 99 |
| | 9:15-9:30 | 20 | 4 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 18 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:45-10:00 | 20 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 24 | 3 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 119 |
| | 10:15-10:30 | 20 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 26 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 20 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 27 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 |
| | 11:15-11:30 | 29 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 32 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 24 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 20 | 2 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 115 |
| | 12:15-12:30 | 18 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 26 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 33 | 1 | 7 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 150 |
| | 13:15-13:30 | 25 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 27 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 33 | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 28 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 113 |
| | 14:15-14:30 | 22 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 20 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 18 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 16 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 94 |
| | 15:15-15:30 | 18 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 15:30-15:45 | 19 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 15:45-16:00 | 16 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 21 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 105 |
| | 16:15-16:30 | 19 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| | 16:30-16:45 | 20 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 24 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 27 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 156 |
| | 17:15-17:30 | 25 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 30 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 36 | 8 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 1010 | 118 | 161 | 2 | 2 | 22 | 8 | 3 | 1326 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.5: Registro del conteo manual día martes.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|---------|-----------|-----------------|-----|-----------------------------|------|-----|-------|
| Tramo: | | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | | univ. Andrea Montero Avalos | | | |
| Tipo de pavimento: | | pavimento flexible | | | Ubicación: | | esquina mercado Evo Morales | | | |
| Fecha: | | 8/12/2020 | | | Dia: | | martes | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | Auto | Minivan | Camioneta | Micro | Bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 24 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 138 |
| | 7:15-7:30 | 28 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 25 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 32 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 22 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 85 |
| | 8:15-8:30 | 18 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:30-8:45 | 15 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 20 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 16 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 94 |
| | 9:15-9:30 | 21 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 19 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| | 9:45-10:00 | 15 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 20 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 |
| | 10:15-10:30 | 14 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 17 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 21 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 15 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83 |
| | 11:15-11:30 | 19 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 16 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 17 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 23 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 104 |
| | 12:15-12:30 | 22 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 20 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 19 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 19 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 |
| | 13:15-13:30 | 21 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 18 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 19 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 16 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106 |
| | 14:15-14:30 | 20 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 19 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 21 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 18 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 94 |
| | 15:15-15:30 | 20 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 15:30-15:45 | 16 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 15:45-16:00 | 19 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 18 | 3 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 100 |
| | 16:15-16:30 | 22 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | |
| | 16:30-16:45 | 19 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 17 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 27 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 137 |
| | 17:15-17:30 | 26 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 29 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 26 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 888 | 92 | 123 | 3 | 1 | 13 | 7 | 2 | 1129 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.6: Registro del conteo manual día miércoles

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------|---------|--------------|-----------------------------|-----|------|------|-----|-------|
| Tramo: | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | univ. Andrea Montero Avalos | | | | | |
| Tipo de pavimento: | pavimento flexible | | | Ubicación: | esquina mercado Evo Morales | | | | | |
| Fecha: | 9/12/2020 | | | Día: | miercoles | | | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 30 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 143 |
| | 7:15-7:30 | 26 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 28 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 31 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 25 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 120 |
| | 8:15-8:30 | 21 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 8:30-8:45 | 26 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 20 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 23 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 |
| | 9:15-9:30 | 19 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 16 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 9:45-10:00 | 18 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 12 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 92 |
| | 10:15-10:30 | 17 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 19 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 18 | 5 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 22 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 104 |
| | 11:15-11:30 | 20 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 18 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 23 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 26 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| | 12:15-12:30 | 21 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 22 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 20 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 19 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 117 |
| | 13:15-13:30 | 21 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 25 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 28 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 24 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 109 |
| | 14:15-14:30 | 20 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 19 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 18 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 13 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87 |
| | 15:15-15:30 | 17 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 15:30-15:45 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| | 15:45-16:00 | 14 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 16 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 95 |
| | 16:15-16:30 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:30-16:45 | 15 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 16 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 20 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 136 |
| | 17:15-17:30 | 24 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 29 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 31 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 926 | 98 | 147 | 3 | 0 | 16 | 8 | 2 | 1200 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.7: Registro del conteo manual día jueves.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------------------|---------|--------------|-----------------------------|-----|------|------|-----|-------|
| Tramo: | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | univ. Andrea Montero Avalos | | | | | |
| Tipo de pavimento: | pavimento flexible | | | Ubicación: | esquina mercado Evo Morales | | | | | |
| Fecha: | 10/12/2020 | | | Día: | jueves | | | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 30 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 143 |
| | 7:15-7:30 | 26 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 28 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 31 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 25 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 120 |
| | 8:15-8:30 | 21 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 8:30-8:45 | 26 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 20 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 23 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 |
| | 9:15-9:30 | 19 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 16 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 9:45-10:00 | 18 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 12 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 92 |
| | 10:15-10:30 | 17 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 19 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 18 | 5 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 22 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 104 |
| | 11:15-11:30 | 20 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 18 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 23 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 26 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| | 12:15-12:30 | 21 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 22 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 20 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 19 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 117 |
| | 13:15-13:30 | 21 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 25 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 28 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 24 | 3 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 109 |
| | 14:15-14:30 | 20 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 19 | 4 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 18 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 13 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87 |
| | 15:15-15:30 | 17 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 15:30-15:45 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| | 15:45-16:00 | 14 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 16 | 3 | 5 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 95 |
| | 16:15-16:30 | 18 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:30-16:45 | 15 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 16 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 20 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 136 |
| | 17:15-17:30 | 24 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 29 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 31 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 926 | 98 | 147 | 3 | 0 | 16 | 8 | 2 | 1200 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.8: Registro del conteo manual día viernes.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|---------|-----------|-----------------|-----|-----------------------------|------|-----|-------|
| Tramo: | | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | | univ. Andrea Montero Avalos | | | |
| Tipo de pavimento: | | pavimento flexible | | | Ubicación: | | esquina mercado Evo Morales | | | |
| Fecha: | | 11/12/2020 | | | Dia: | | viernes | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 32 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 138 |
| | 7:15-7:30 | 26 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 24 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 22 | 5 | 4 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 17 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| | 8:15-8:30 | 18 | 2 | 6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | |
| | 8:30-8:45 | 19 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 15 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 17 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 |
| | 9:15-9:30 | 18 | 4 | 4 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 19 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:45-10:00 | 23 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 20 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 98 |
| | 10:15-10:30 | 17 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 22 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 18 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 25 | 4 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 135 |
| | 11:15-11:30 | 26 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 31 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 28 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 21 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 125 |
| | 12:15-12:30 | 25 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 22 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 27 | 2 | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 31 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 137 |
| | 13:15-13:30 | 24 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 29 | 3 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 30 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 26 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 111 |
| | 14:15-14:30 | 24 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 20 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 17 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 19 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 104 |
| | 15:15-15:30 | 21 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| | 15:30-15:45 | 19 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 15:45-16:00 | 17 | 2 | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 21 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 103 |
| | 16:15-16:30 | 18 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:30-16:45 | 18 | 2 | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 23 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 26 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 152 |
| | 17:15-17:30 | 24 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 29 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 35 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 1003 | 113 | 154 | 3 | 2 | 19 | 10 | 3 | 1307 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.9: Registro del conteo manual día Sábado.

| Estudio de trafico en la localidad de Padcaya | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|---------|-----------|-----------------|-----|-----------------------------|------|-----|-------|
| Tramo: | | Padcaya - Chaguaya | | | Proyectista: | | univ. Andrea Montero Avalos | | | |
| Tipo de pavimento: | | pavimento flexible | | | Ubicación: | | esquina mercado Evo Morales | | | |
| Fecha: | | 12/12/2020 | | | Dia: | | sabado | | | |
| Hora | Intervalo | Tipo de vehiculo | | | | | | | | Total |
| | | Transito liviano | | | Transito pesado | | | | | |
| | | auto | minivan | camioneta | micro | bus | C-2P | C-2G | C-3 | |
| 7:00-8:00 | 7:00-7:15 | 27 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 130 |
| | 7:15-7:30 | 23 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:30-7:45 | 29 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 7:45-8:00 | 26 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8:00-9:00 | 8:00-8:15 | 20 | 1 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 84 |
| | 8:15-8:30 | 14 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 8:30-8:45 | 19 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 8:45-9:00 | 16 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| 9:00-10:00 | 9:00-9:15 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 79 |
| | 9:15-9:30 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 9:30-9:45 | 14 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9:45-10:00 | 20 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10:00-11:00 | 10:00-10:15 | 17 | 2 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 85 |
| | 10:15-10:30 | 13 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 10:30-10:45 | 19 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 10:45-11:00 | 15 | 3 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | |
| 11:00-12:00 | 11:00-11:15 | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 87 |
| | 11:15-11:30 | 20 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:30-11:45 | 18 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 11:45-12:00 | 13 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12:00-13:00 | 12:00-12:15 | 17 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89 |
| | 12:15-12:30 | 19 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 12:30-12:45 | 15 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 12:45-13:00 | 13 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 13:00-14:00 | 13:00-13:15 | 16 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 |
| | 13:15-13:30 | 20 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 13:30-13:45 | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 13:45-14:00 | 23 | 5 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 14:00-15:00 | 14:00-14:15 | 21 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 123 |
| | 14:15-14:30 | 25 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| | 14:30-14:45 | 20 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 14:45-15:00 | 26 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 15:00-16:00 | 15:00-15:15 | 23 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 97 |
| | 15:15-15:30 | 20 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 15:30-15:45 | 13 | 3 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 15:45-16:00 | 21 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16:00-17:00 | 16:00-16:15 | 19 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 85 |
| | 16:15-16:30 | 16 | 0 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | 16:30-16:45 | 12 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 16:45-17:00 | 18 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17:00-18:00 | 17:00-17:15 | 21 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 138 |
| | 17:15-17:30 | 26 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:30-17:45 | 29 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 17:45-18:00 | 30 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| trafico diario | | 850 | 96 | 123 | 3 | 1 | 11 | 6 | 1 | 1091 |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.3. Procesamiento de información de los vehículos

Una vez realizado el conteo manual vehicular en la estación, se comenzó a efectuar la clasificación y procesamiento de la información obtenida. Los registros obtenidos diarios estarán especificados en anexos.

A. Representación de los datos de aforo

Tabla 2.10: Representación de los datos de aforo

| Intervalo | Tráfico horario anual | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------|-----------|----------------------|
| | Lunes | | | Martes | | | Miércoles | | | Jueves | | | Viernes | | | Sábado | | |
| | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) |
| 07:00-08:00 | 142 | 1 | 0 | 136 | 0 | 2 | 143 | 0 | 0 | 143 | 0 | 0 | 135 | 1 | 2 | 130 | 0 | 0 |
| 08:00-09:00 | 90 | 0 | 2 | 83 | 1 | 1 | 114 | 1 | 5 | 114 | 1 | 5 | 98 | 0 | 4 | 80 | 1 | 3 |
| 09:00-10:00 | 97 | 0 | 2 | 91 | 0 | 3 | 94 | 0 | 1 | 94 | 0 | 1 | 97 | 1 | 4 | 78 | 0 | 1 |
| 10:00-11:00 | 114 | 0 | 4 | 92 | 0 | 1 | 87 | 0 | 5 | 87 | 0 | 5 | 95 | 0 | 3 | 80 | 1 | 4 |
| 11:00-12:00 | 138 | 0 | 2 | 81 | 0 | 2 | 101 | 1 | 2 | 101 | 1 | 2 | 132 | 0 | 3 | 87 | 0 | 0 |
| 12:00-13:00 | 111 | 0 | 4 | 102 | 0 | 2 | 102 | 0 | 0 | 102 | 0 | 0 | 123 | 0 | 2 | 87 | 0 | 2 |
| 13:00-14:00 | 144 | 0 | 6 | 94 | 0 | 1 | 115 | 1 | 1 | 115 | 1 | 1 | 136 | 0 | 1 | 92 | 0 | 2 |
| 14:00-15:00 | 111 | 1 | 1 | 102 | 2 | 2 | 105 | 0 | 4 | 105 | 0 | 4 | 108 | 1 | 2 | 120 | 0 | 3 |
| 15:00-16:00 | 89 | 1 | 4 | 92 | 0 | 2 | 84 | 0 | 3 | 84 | 0 | 3 | 97 | 1 | 6 | 95 | 1 | 1 |
| 16:00-17:00 | 98 | 0 | 7 | 95 | 1 | 4 | 91 | 0 | 4 | 91 | 0 | 4 | 98 | 1 | 4 | 83 | 1 | 1 |
| 17:00-18:00 | 155 | 0 | 1 | 135 | 0 | 1 | 135 | 0 | 1 | 135 | 0 | 1 | 151 | 0 | 1 | 137 | 0 | 1 |
| TOTAL 2020 | 1289 | 3 | 33 | 1103 | 4 | 21 | 1171 | 3 | 26 | 1171 | 3 | 26 | 1270 | 5 | 32 | 1069 | 4 | 18 |

Fuente: Elaboración propia.

B. Datos de tráfico semanal

Tabla 2.11: Representación del tráfico semanal

| Días de conteo | Livianos (L) | Buses (B) | Camiones pesados (C) | Tráfico total diario (td) | Tráfico total diario (ttd +33%) | Tráfico total semanal (tts) | Tráfico promedio diario (tpds) |
|----------------|--------------|-----------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Lunes | 1289 | 3 | 33 | 1325 | 1762,25 | 9466,94 | 1352,42 |
| Martes | 1103 | 4 | 21 | 1128 | 1500,24 | | |
| Miércoles | 1171 | 3 | 26 | 1200 | 1596 | | |
| Jueves | 1045 | 4 | 18 | 1067 | 1419,11 | | |
| Viernes | 1270 | 5 | 32 | 1307 | 1738,31 | | |
| Sábado | 1069 | 4 | 18 | 1091 | 1451,03 | | |

Fuente: Elaboración propia.

C. Datos de tráfico promedio diario anual (TPDA)

Tabla 2.12: Tráfico promedio anual

| Días de conteo | Tráfico total diario (ttd +33%) | N de días en el año | Tráfico anual (ta) | Tráfico total anual (tta) | Tpda (actual) |
|------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Lunes | 1762,25 | 52 | 91637 | 569234,68 | 1559,547 |
| Martes | 1500,24 | 53 | 79512,72 | | |
| Miércoles | 1596 | 52 | 82992 | | |
| Jueves | 1419,11 | 52 | 73793,72 | | |
| Viernes | 1738,31 | 52 | 90392,12 | | |
| Sábado y domingo | 1451,03 | 104 | 150907,12 | | |

Fuente: Elaboración propia.

D. Tráfico promedio diario anual (TPDA) actual clasificado de VEHÍCULOS LIVIANOS

Tabla 2.13: Tráfico promedio diario anual actual para vehículos livianos

| Días de conteo | Livianos (L) | Tráfico total diario (ttd +33%) | N de días en el año | Tráfico anual (ta) | Tráfico total anual (tta) | Tpda (actual) |
|------------------|--------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Lunes | 1289 | 1714,37 | 52 | 89147,24 | 555853,55 | 1522,886 |
| Martes | 1103 | 1466,99 | 53 | 77750,47 | | |
| Miércoles | 1171 | 1557,43 | 52 | 80986,36 | | |
| Jueves | 1045 | 1389,85 | 52 | 72272,2 | | |
| Viernes | 1270 | 1689,1 | 52 | 87833,2 | | |
| Sábado y domingo | 1069 | 1421,77 | 104 | 147864,08 | | |

Fuente: Elaboración propia.

E. Tráfico promedio diario anual (TPDA) actual clasificado de BUSES

Tabla 2.14: Tráfico promedio diario anual actual de buses

| Días de conteo | Buses (B) | Tráfico total diario (ttd +33%) | N de días en el año | Tráfico anual (ta) | Tráfico total anual (tta) | Tpda (actual) |
|------------------|-----------|---------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Lunes | 3 | 3,99 | 52 | 207,48 | 1872,64 | 5,131 |
| Martes | 4 | 5,32 | 53 | 281,96 | | |
| Miércoles | 3 | 3,99 | 52 | 207,48 | | |
| Jueves | 4 | 5,32 | 52 | 276,64 | | |
| Viernes | 5 | 6,65 | 52 | 345,8 | | |
| Sábado y domingo | 4 | 5,32 | 104 | 553,28 | | |

Fuente: Elaboración propia.

F. Tráfico promedio diario anual (TPDA) actual clasificado de CAMIONES PESADOS

Tabla 2.15: Tráfico promedio diario anual actual de camiones pesados

| Días de conteo | Camiones pesados (C) | Tráfico total diario (ttdd +33%) | N de días en el año | Tráfico anual (ta) | Tráfico total anual (tta) | Tpda (actual) |
|------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Lunes | 33 | 43,89 | 52 | 2282,28 | 11508,49 | 31,530 |
| Martes | 21 | 27,93 | 53 | 1480,29 | | |
| Miércoles | 26 | 34,58 | 52 | 1798,16 | | |
| Jueves | 18 | 23,94 | 52 | 1244,88 | | |
| Viernes | 32 | 42,56 | 52 | 2213,12 | | |
| Sábado y domingo | 18 | 23,94 | 104 | 2489,76 | | |

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Estudio geotécnico

2.2.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de su agua libre, capilar e higroscópica. El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado al horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas. (Soto, 2017)

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_{ss}} * 100$$

Dónde:

W= Contenido de humedad en %

Ww= Peso del agua presente en el suelo.

W_{ss}= Peso del suelo después de secado al horno.

- Granulometría de suelos (ASTM D422, AASHTO T88)

Se denomina granulometría a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Tabla 2.16: Escala granulométrica

| Escala granulométrica | |
|-----------------------|-------------------|
| Partícula | Tamaño |
| Arcillas | < 0,002 mm |
| Limos | 0,002 – 0,06 mm |
| Arenas | 0,06 – 2,00 mm |
| Gravas | 2,00 – 60,00 mm |
| Cantos rodados | 60,00 – 250,00 mm |

Fuente: Texto guía de laboratorio de la asignatura CIV-341 mecánica de suelos I y laboratorio.

2.2.2.2. Determinación de consistencia de los suelos límite líquido (ASTM D4318, AASHTO T89)

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande o copa de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12,00 mm (1/2”). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 5, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite

líquido. Dado que no siempre es posible que el surco se cierre en la longitud de 12,00 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido, trazar una gráfica con el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el límite líquido, según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de la multiplicación. (Soto, 2017)

2.2.2.3. Determinación de consistencia de los suelos límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318, AASHTO T90)

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3,00 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3,00 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarmará el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3,00 mm. Esto se realiza consecutivamente hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento.

2.2.2.4. Clasificación de suelos

La clasificación de suelos es una categorización del suelo basado en características distintivas y en criterios de uso. Una clasificación de suelos es muy dinámica, en sí misma, de la estructura, del sistema, las definiciones de clases, y finalmente en la aplicación en el campo. Sistema de clasificación S.U.C.S.

El sistema unificado de clasificación de suelos fue propuesto inicialmente por Casagrande en 1942 y después revisado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el cuerpo de ingenieros. Este sistema es el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos. El sistema S.U.C.S. clasifica los suelos en base a su granulometría, los límites Atterberg y el contenido de materia orgánica. (Soto, 2017)

Tabla 2.17: Descripción de las propiedades según S.U.C.S.

| Símbolo | Descripción |
|---------|------------------------------|
| G | Grava o suelo gravoso |
| S | Arena o suelo arenoso |
| W | Bien graduado |
| C | Arcilla inorgánica |
| P | Mal graduado |
| M | Limo inorgánico o arena fina |

Fuente: Texto guía de laboratorio de la asignatura CIV-341 mecánica de suelos I y laboratorio.

- Sistema de clasificación AASTHO:

El sistema de clasificación fue desarrollado en 1929 como el sistema de clasificación de la oficina de camino público y ha sufrido varias revisiones, con la versión actual propuesta por el comité para la clasificación de materiales para sub-rasante y caminos Tipo granulare del consejo de investigaciones carreteras en 1945. El sistema de clasificación AASHTO.

Figura 2.11: Clasificación AASHTO material granular

| Clasificación general | Material Granular (35% o menos del total pasa No.200) | | | | | | |
|--|--|-----------|------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | A - 1 | | A - 3 | A - 2 | | | |
| | A - 1 - a | A - 1 - b | | A - 2 - 4 | A - 2 - 5 | A - 2 - 6 | A - 2 - 7 |
| Análisis de tamices (porcentaje que pasa) | | | | | | | |
| No. 10 | 50 max. | | | | | | |
| No. 40 | 30 max. | 50 máx. | 51 min. | | | | |
| No. 200 | 15 max. | 25 max. | 10 max. | 35 max. | 35 max. | 35 max. | 35 max. |
| Características de la fracción que pasa No.40 | | | | | | | |
| Limite liquido | | | | 40 max. | 41 min. | 40 max. | 41 min. |
| Indice de plasticidad | 6 max. | | NP | 10 max. | 10 max. | 11 min. | 11 min. |
| Tipos usuales de materiales que consta | Fragmentos pétreos, grava, y arena | | Arena fina | Limos o gravas arcillosas y arena | | | |
| Valoración general del subgrupo | Excelente a bueno | | | | | | |

Fuente: Principios de la Ingeniería Geotécnica Braja M. Das (1998)

Figura 2.12: Clasificación AASHTO material limo-arcilloso

| Clasificación general | Material limo- arcilloso (más del 35% del total pasa No.200) | | | |
|--|---|---------|-------------------|-------------------------------|
| Grupo de clasificación | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 (a) A-7-6 (b) |
| Análisis de tamices (porcentaje que pasa) | | | | |
| No. 10 | | | | |
| No. 40 | | | | |
| No. 200 | 36 min. | 36 min. | 36 min. | 36 min. |
| Características de la fracción que pasa No. 40 | | | | |
| Limite liquido | 40 max. | 41 min. | 40 max. | 41 min. |
| Indice de plasticidad | 10 max. | 10 max. | 11 min. | 11 min. |
| Tipos usuales de materiales que consta | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | |
| Valoración general del subgrupo | Regular a pobre | | | |
| (a) Para A-7-5, IP < LL - 30 | | | | |
| (b) Para A-7-6, IP > LL - 30 | | | | |

Fuente: Principios de la Ingeniería Geotécnica Braja M. Das (1998).

2.2.2.5. Ensayo de compactación

La compactación de los suelos, es importante como medio para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos, no fue reconocida ampliamente sino hasta la aparición del rodillo pata de cabra en 1906. Sin embargo, fue hasta 1933, año en el que R. R. Proctor publicó sus investigaciones sobre este tema, cuando se conocieron los factores que intervienen en la compactación. Proctor encontró que aplicando a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la cual se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para ese suelo y esa energía de compactación.

Objetivo de la compactación:

- Mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- Generar a partir de un suelo un material con las propiedades mecánicas apropiadas.
- El proceso de la compactación es la densificación rápida de un suelo, sin pérdida de humedad.

Las determinaciones de los puntos sencillos se efectúan compactando el suelo dentro de un molde de un tamaño dado, con un martillo de 2,50 kg (5,50 lb) que se deja caer desde

una altura de 305,00 mm (12”). Se dispone de cuatro procedimientos alternos en la siguiente forma:

Tabla 2.18: Especificación para la prueba Proctor Estándar (basadas en las 698-91 de la ASTM)

| Concepto | Método A | Método B | Método C |
|--|--|---|---|
| Diámetro del molde | 101,60 mm | 101,60 mm | 152,40 mm |
| Volumen del molde | 943,30 cm ³ | 943,30 cm ³ | 2124,00 cm ³ |
| Peso del pisón | 24,40 n | 24,40 n | 24,40 n |
| Altura de caída del pisón | 304,80 mm | 304,80 mm | 304,80 mm |
| Número de golpes del pisón por capa de suelo | 25 | 25 | 56 |
| Número de capas | 3 | 3 | 3 |
| Energía de compactación | 591,30 kn-m/m ³ | 591,30 kn-m/m ³ | 591,30 kn-m/m ³ |
| Suelo por usarse | Porción que pasa la malla no. 4 (4,75 mm). Se usa si 20 % o menos por peso de material es retenido en la malla no. 4 | Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla no. 4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm | Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9,5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla 19 mm. |

Fuente: Texto guía de laboratorio de la asignatura CIV-341 mecánica de suelos I y laboratorio.

Tabla 2.19: Especificación para la prueba Proctor Modificado (basadas en las 698-91 de la ASTM)

| Concepto | Método A | Método B | Método C |
|--|--|--|---|
| Diámetro del molde | 101,60 mm | 101,60 mm | 152,40 mm |
| Volumen del molde | 943,30 cm ³ | 943,30 cm ³ | 2124,00 cm ³ |
| Peso del pisón | 44,50 n | 44,50 n | 44,50 n |
| Altura de caída del pisón | 457,20 mm | 457,20 mm | 457,20 mm |
| Número de golpes del pisón por capa de suelo | 25 | 25 | 56 |
| Número de capas | 5 | 5 | 5 |
| Energía de compactación | 2696,00 kn-m/m ³ | 2696,00 kn-m/m ³ | 2696,00 kn-m/m ³ |
| Suelo por usarse | Porción que pasa la malla n° 4 (4,75 mm). Se usa si 20 % o menos por peso de material es retenido en la malla n° 4 | Porción que pasa la malla de 9,5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla n° 4 es más del 20%, y 20% o menos por peso es retenido en la malla de 9,5 mm | Porción que pasa la malla de 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla de 9,5 mm, y menos de 30% por peso es retenido en la malla 19 mm. |

Fuente: Texto guía de laboratorio de la asignatura CIV-341 mecánica de suelos I y laboratorio.

2.2.2.6. Ensayo CBR

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terreno compactados como terraplene, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de los terrenos.

La prueba CBR de los suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergidos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado que se rige por la norma ASTM 1883.

La prueba del CBR consiste en determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm² para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm. A través de este procedimiento se determina lo que se llama en Índice CBR que es la relación entre la carga determinada y la que se obtiene por el mismo procedimiento para una muestra tipo de roca machacada y se expresa en porcentaje.

2.2.2.7. Determinación del CBR

2.2.2.7.1. Cálculo

En la localidad de Padcaya existen barrios nuevos los cuales aún no se encuentran asfaltados, también existen calles sin asfalto, por lo que se tomó la decisión de obtener muestras en cinco zonas de diferentes lugares del municipio para su estudio. Se comenzó la extracción de las muestras primero limpiando un poco alrededor de la zona (15,00 cm) en una de las cuales se tuvo que utilizar tanto la pala como el pico para obtener maso menos 20,00 kg de muestra por zona.

Este material fue derivado al laboratorio de suelos donde se comenzó con los ensayos pertinentes.

Tabla 2.20: Coordenadas de ubicación de cada muestra

| Muestra N° | Zona N° | Este | Norte |
|------------|---------|-----------|------------|
| 1 | 1 | 322775,00 | 7578077,00 |
| 2 | 2 | 323026,00 | 7578558,00 |
| 3 | 3 | 322806,00 | 7578797,00 |
| 4 | 4 | 323339,00 | 7579167,00 |
| 5 | 5 | 323098,00 | 7578171,00 |

| | | | |
|---|---|-----------|------------|
| 6 | 6 | 323080,00 | 7578730,00 |
| 7 | 7 | 322985,00 | 7578595,00 |
| 8 | 8 | 322940,00 | 7578388,00 |

Fuente: Elaboración propia.

○ Contenido de humedad

Es necesario entender que a un suelo húmedo se le debe aplicar calor a temperaturas que superen los 100 C, para que se garantice que el agua que se encuentra dentro del suelo, se evapore secándolo. Se determinó usar el método horno. Se separó material en bandejas grandes una por cada suelo el cual fue llevado al horno, también se determinó utilizar tres taras para su determinación.

Tabla 2.21: Resultados de contenido de humedad

| Zona | Contenido de humedad (%) |
|--------|--------------------------|
| Zona 1 | 6,63 |
| Zona 2 | 12,09 |
| Zona 3 | 9,87 |
| Zona 4 | 9,16 |
| Zona 5 | 3,78 |
| Zona 6 | 3,04 |
| Zona 7 | 4,72 |
| Zona 8 | 4,21 |

Fuente: Elaboración propia.

- Granulometría

Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, para la determinación de la distribución de tamaño de las partículas. Los resultados se usan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas, según los requisitos especificados y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de agregados y mezclas que contienen agregados. La información también puede ser usada en el desarrollo de relaciones concernientes a posteriores ensayos.

Se determinó utilizar el método del lavado ya que las muestras estaban con demasiados grumos o agregados unidos por material limoso u arcilloso, en este procedimiento se requiere tamizar el material hasta el tamiz N° 200 (0,075 mm) lo que se retiene se debe dejar reposar en agua hasta que esta se sature completamente, se debe lavar el material hasta que el agua pasante tome aspectos más claros sin sedimentos pequeños, posteriormente se debe dejar la muestra en el horno para su tamizado después de estar totalmente seco. (Soto, 2017)

Los resultados se los adjunta en el ANEXO Caracterización de los agregados

- Consistencia de los suelos límite líquido

Se ensayará en una muestra seca que haya pasado por el tamiz N° 40, en una cantidad mínima de 100 gramos. Se determinó el límite líquido y límite plástico solo de tres zonas, ya que, los otros tipos de suelos no contaban con esta propiedad por lo que son suelos más arenosos.

Los resultados se los adjunta en el ANEXO Caracterización de los agregados.

- Clasificación

La clasificación de suelos es una categorización del suelo basado en características distintivas y en criterios de uso. Una clasificación de suelos es muy dinámica, en sí misma, de la estructura del sistema.

El propósito de cualquier clasificación es ser capaz de organizar el conocimiento de tal modo de que las propiedades de los suelos puedan ser recordados y sus relaciones

entendidas más fácilmente para un objetivo específico. El proceso de formación de clases por agrupamiento de suelos se hace sobre la base de sus propiedades comunes. Las propiedades ingenieriles básicas se suelen emplear para las distintas clasificaciones, son: la distribución granulométrica, los límites de Atterberg, el contenido en materia orgánica. (Soto, 2017)

Los resultados se los adjunta en el ANEXO Caracterización de los agregados

- Compactación

La compactación de los suelos, es importante como medio para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos, se seca la muestra en el horno hasta que se vuelva desmenuzable.

Equipo requerido:

- Moldes metálicos: molde de 100,00 mm de diámetro nominal, molde de 150 mm de diámetro nominal.
- Pistón metálico: debe tener una cara circular de 50,00+/- 0,2 mm de diámetro, una masa de 2500,00 +/- 10 gr.
- Probetas graduadas: graduadas de 1000 ml.
- Tamices: de 50 mm (2”), 19 mm (3/4”) y de 4,75 mm (Nº 4).
- Herramientas: regla metálica, cuchara, espátula, etc.

Los resultados se los adjunta en el ANEXO Caracterización de los agregados

- CBR

El objeto de este ensayo es determinar la resistencia a la penetración de un suelo compactado bajo condiciones controladas de humedad y densidad y que se expresa como una relación de soporte porcentual entre la carga unitaria del suelo y la carga unitaria patrón de la piedra picada, establecida por la penetración a una misma profundidad de un pistón de penetración.

Equipo requerido:

- Prensa de carga: con una capacidad mayor o igual a 44,50 KN.

- Molde cilíndrico de metal: con un diámetro interno de 152,00 +/- 0,66 mm y una altura de 177,80 +/- 0,46 mm, acoplados con collar metálico de 2" de altura y con base cilíndrica metálica perforada con vástago graduado, que puede acoplarse a los dos lados del molde.
- Disco espaciador metálico: de diámetro no menor de 150,80 +/- 0,80 mm y 61,37 +/- 127,00 mm de altura.
- Martillo de compactación: de acuerdo a los ensayos Proctor Standard (ASTM D698) o Proctor Modificado (ASTM D1557).
- Aparato medido de expansión: un plato perforado de diámetro 149,23 a 150,81 mm y huecos uniformemente espaciados sobre el plato con una barra metálica ajustable.
- Un trípode de metal: para colocar el reloj para medir la cantidad durante la expansión.
- Horno controlado: termostáticamente capaz de mantener una temperatura de 110 C.
- Una o dos pesas: para cada espécimen.
- Pistón de penetración: un pistón de metal de 49,63 mm de diámetro y mayor a 101,60 mm de largo.
- Herramientas básicas: bandejas, cucharas, regla metálica, papel de filtro, etc.
- Tanque de inmersión: que permita mantener el nivel de agua a 25,00 mm por encima del tope del espécimen.

Al material se le debe añadir la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima de mezclado que fue calculada previamente en el ensayo de compactación (D698 o D1557), cuando se desea el CBR al 100% de la densidad máxima y a humedad óptima, se debe compactar el suelo de acuerdo al ensayo de compactación realizado previamente y al contenido de humedad entre 0,50 % del contenido de humedad óptima.

Si se requiere el valor de CBR al 95% de la densidad máxima se preparan especímenes compactados con 56, 25 y 10 golpes por capa, que son satisfactorios, y al final se realiza el ensayo de penetración a cada espécimen.

Algunos suelos arenosos poco plásticos pueden necesitar periodos más cortos de saturación. (Soto, 2017)

Los resultados se los adjunta en el ANEXO Caracterización de los agregados.

2.2.2.8. Módulo resiliente de la subrasante

Según los resultados del análisis del CBR para las 5 muestras diferentes se calculan valores de Módulo Resiliente:

- Se utilizó la siguiente ecuación para los CBR:

$$MR= 4326*\ln(CBR)+241$$

- Zona 1

$$CBR= 4,87 \%$$

$$MR= 4326*\ln (4,87) +241$$

$$MR= 7037,35 \text{ Psi}$$

- Zona 2

$$CBR= 4,73 \%$$

$$MR= 4326*\ln (4,73) +241$$

$$MR= 6907,2 \text{ Psi}$$

- Zona 3

$$CBR= 4,94 \%$$

$$MR= 4326*\ln (4,94) +241$$

$$MR= 7101,93 \text{ Psi}$$

- Zona 4

$$CBR= 4,05 \%$$

$$MR= 4326*\ln (4,05) +241$$

$$MR= 6254,06 \text{ Psi}$$

◦ Zona 5

CBR= 4,66 %

$$MR= 4326*\ln (4,66) +241$$

$$MR= 6841.60 \text{ Psi}$$

◦ Zona 6

CBR= 17,79 %

$$MR= 4326*\ln (17,79) +241$$

$$MR= 26685 \text{ Psi}$$

◦ Zona 7

CBR= 19,66 %

$$MR= 4326*\ln (19,66) +241$$

$$MR= 29490 \text{ Psi}$$

◦ Zona 8

CBR= 16,63 %

$$MR= 4326*\ln (16,63) +241$$

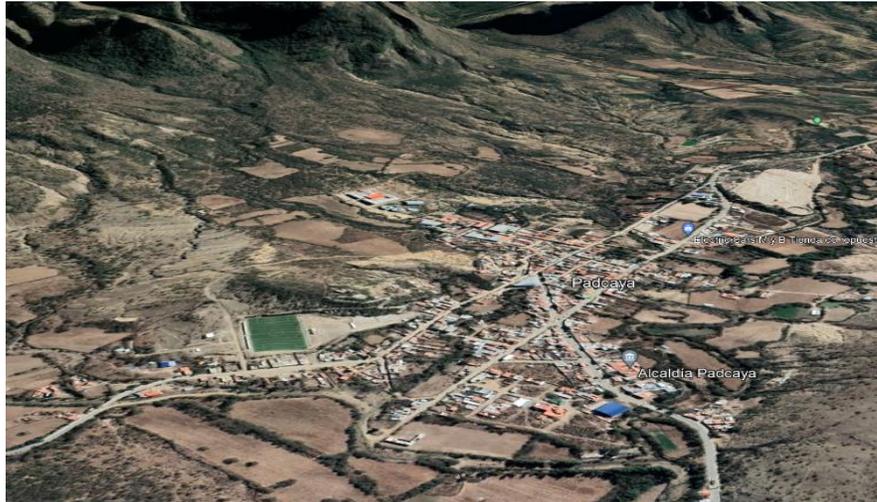
$$MR= 24945 \text{ Psi}$$

2.2.3. Estudio topográfico

2.2.3.1. Ubicación de la zona de estudio

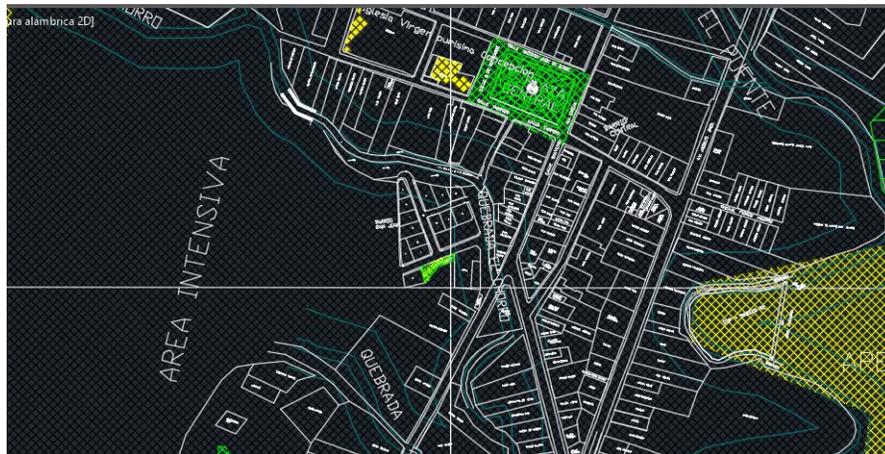
La localidad de Padcaya, está ubicada en la Provincia Arce la cual consta de dos secciones la primera es el Municipio de Padcaya, el cual cuenta con 82 comunidades y el pueblo de Padcaya con 6 barrios, se encuentra a 50 kilómetros de la capital del Departamento de Tarija.

Figura 2.13: Imagen satelital de la zona de estudio



Fuente: Google Maps

Figura 2.14: Ubicación de la zona de estudio



Fuente: Plano catastral, febrero 2017

2.2.3.2. Levantamiento topográfico a detalle

Los levantamientos topográficos son el conjunto de operaciones necesarias para determinar las posiciones de los puntos y realizar posteriormente su representación sobre un plano de referencia horizontal. Así pues, el procedimiento a seguir en los levantamientos topográficos comprende dos etapas fundamentales:

- El trabajo de campo, que es la toma de los datos. Esta toma de datos fundamentalmente consiste en medir ángulos y distancias horizontales y/o verticales, para este caso con la utilización de una estación total.
- El trabajo de gabinete o de oficina que consiste en el cálculo de las posiciones de los puntos medidos y el dibujo de los mismos sobre un plano.

El levantamiento topográfico a detalle se lo realizó el día lunes 26 y martes 27 de abril de 2021. Se empezó desde la llegada a la localidad de la ciudad de Tarija hacia el camino al Santuario de Chaguaya, y se terminó por el tramo de la carretera a Bermejo.

Este estudio permite conocer la morfología del terreno donde se encuentran las calles existentes. A partir de los puntos obtenidos en coordenadas se podrá levantar la superficie y generar los alineamientos y secciones de las calles en mención. De manera que a partir del diseño actual se pueda proponer un diseño actualizado sin desviarse demasiado de lo existente.

En el levantamiento topográfico de la zona de estudio se empleó para los trabajos de campo el siguiente equipo topográfico:

- Estación total
- Trípode de aluminio
- Prisma y porta prisma
- Bastón de 2,60 m.
- GPS
- Flexómetro
- Cinta de 30 m.
- Pintura
- Herramientas menores

El levantamiento topográfico se lo realizó con la ayuda de un Topógrafo, el cual se encargó de todo el equipamiento necesario para el procedimiento. Con el levantamiento topográfico en el área de influencia se obtuvo una representación detallada del terreno, los elementos y características de la zona como anchos de carriles, veredas, tanto en

planimetría como en altimetría, ver libreta topográfica y plano del levantamiento en Anexos.

2.2.4. Estudio hidrológico

En un estudio hidrológico se debe obtener la ecuación de la intensidad para posteriormente calcular el caudal de estudio.

2.2.4.1. Construcción de la ecuación de intensidad

Se trabajó con la estación de Padcaya ya que es la estación más cercana. Se construyó la ecuación por el modelo propuesto por Bernard.

Para representar las curvas IDF se aplicó el modelo matemático Gumbel modificado.

Para poder determinar las curvas I-D-F se siguió el siguiente procedimiento:

- Con datos de precipitación pluviográfica se realiza un ajuste con una ley de distribución como se muestra en el anterior capítulo. Generalmente se ajusta a una ley Gumbel y a partir del ajuste se procede a calcular la precipitación para los periodos de retorno requeridos. Este procedimiento se realiza para cada duración y se obtiene la relación P-D-F.
- Con los resultados obtenidos se grafican las curvas P-D-F.
- Se determina la relación I-D-F con la ecuación

$$i=P/t$$

Dónde:

i = Intensidad máxima en mm./hora

P = Precipitación o lámina de agua en mm.

t = Tiempo en horas.

- Se grafica la curva I-D-F.

Modelos matemáticos para representar las curvas IDF

Criterio de la elección de β y τ :

Previo a esto, para el desarrollo de las ecuaciones IDF, se estimaron las lluvias máximas diarias y horarias mediante la metodología de Gumbel, esto es:

$$h_{dt} = Ed * [1 + k_d * \log(T)]$$

$$h_{dt} = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta * Ed * [1 + Kd * \log(T)]$$

Dónde:

Hdt= Altura de lluvia máxima diaria

Ed= Moda ponderada

Kd= Característica ponderada

T= Periodo de retorno

HtT= Altura de lluvia máxima horaria

T= Tiempo de duración de la lluvia

β = Constante que en nuestro medio se adopta 0,2

α = Equivalente de lluvia diaria que depende de la magnitud de la cuenta

- Modelo propuesto por Bernard.

El modelo propuesto por Bernard relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el periodo de retorno con una familia de curvas representada por la ecuación:

$$i = \frac{\gamma * T^\varphi}{d^\rho}$$

Dónde:

I= Es la intensidad de la lluvia, en mm/h

T= Periodo de retorno en años.

D= Es la duración de la tormenta, en minutos.

γ φ ρ = Son parámetros que se determinan al ajustar los datos de la ecuación.

En el desarrollo del modelo de Bernard, primero se aplicarán logaritmos a ambos miembros y mediante propiedades de logaritmo para poder determinar de una mejor manera las variables. (Ministerio de Agua, 2007)

2.2.4.2. Datos de la estación Cañas

Tabla 2.22: Datos de la estación Cañas

Estación: Canas
 Provincia: Arce
 Departamento: Tarja

Lat. S.: 21° 54' 08"
 Long. W.: 64° 51' 03"
 Altura: 2.078 m.s.n.m.

Datos mensuales de precipitación máximo en 24 Hrs, (mm)

| Año | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Máximo |
|------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
| 1978 | 27,3 | 25,4 | 91,5 | 11,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 9,6 | 52,3 | 11,4 | 20,2 | 91,50 |
| 1979 | 45,7 | 22,6 | 37,8 | 8,0 | 0,0 | 0,0 | 4,3 | 16,5 | 0,9 | 14,2 | 38,2 | 36,1 | 45,70 |
| 1980 | 24,7 | 23,6 | 38,2 | 26,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 0,0 | 32,4 | 30,0 | 36,8 | 38,20 |
| 1981 | 38,0 | 60,1 | 28,6 | 25,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 15,3 | 3,8 | 32,3 | 38,6 | 35,2 | 60,10 |
| 1982 | 59,6 | 52,6 | 24,7 | 24,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,8 | 0,8 | 33,4 | 16,6 | 59,60 |
| 1983 | 17,1 | 32,3 | 3,1 | 3,6 | 1,6 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | 2,2 | 12,1 | 14,1 | 16,6 | 32,30 |
| 1984 | 48,5 | 28,9 | 28,4 | 15,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 16,6 | 8,5 | 0,0 | 0,0 | 23,8 | 48,50 |
| 1985 | 28,2 | 29,1 | 25,4 | 10,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 10,2 | 0,0 | 21,4 | 23,1 | 20,6 | 29,10 |
| 1986 | 19,4 | 26,9 | 40,1 | 10,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 5,6 | 18,0 | 25,4 | 36,2 | 29,6 | 40,10 |
| 1987 | 20,2 | 22,4 | 10,8 | 18,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 29,4 | 22,1 | 10,6 | 29,40 |
| 1988 | 21,4 | 10,4 | 46,8 | 6,9 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6,0 | 14,2 | 15,7 | 38,6 | 46,80 |
| 1989 | 25,9 | 16,8 | 20,9 | 7,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 9,7 | 10,6 | 19,6 | 20,2 | 25,90 |
| 1992 | 20,4 | 65,6 | 25,0 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 5,2 | 7,2 | 15,0 | 15,5 | 20,0 | 65,60 |
| 1993 | 50,0 | 20,0 | 44,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,5 | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 10,2 | 40,4 | 50,00 |
| 1995 | 48,4 | 26,1 | 65,4 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,2 | 39,1 | 19,2 | 19,1 | 65,40 |
| 1996 | 40,0 | 54,1 | 15,2 | 8,2 | 27,0 | 0,0 | 0,0 | 2,4 | 21,2 | 4,2 | 28,0 | 29,0 | 54,10 |
| 1997 | 32,1 | 51,2 | 17,3 | 51,0 | 5,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 7,4 | 17,4 | 41,2 | 60,0 | 60,00 |
| 1998 | 35,0 | 26,0 | 27,2 | 21,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 3,0 | 12,6 | 17,6 | 45,0 | 45,00 |
| 1999 | 33,2 | 20,2 | 54,0 | 8,2 | 11,0 | 0,0 | 2,2 | 0,6 | 64,4 | 29,6 | 15,2 | 53,0 | 64,40 |
| 2000 | 122,0 | 35,2 | 63,0 | 11,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 14,4 | 22,6 | 32,0 | 122,00 |
| 2001 | 35,2 | 24,0 | 25,8 | 20,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 11,0 | 19,2 | 47,4 | 33,0 | 47,40 |
| 2002 | 28,6 | 41,8 | 43,2 | 9,8 | 1,4 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 37,0 | 24,8 | 10,0 | 43,20 |
| 2003 | 87,6 | 22,4 | 37,2 | 13,6 | 1,2 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 20,4 | 17,6 | 19,0 | 87,60 |
| 2004 | 36,0 | 40,6 | 16,2 | 38,8 | 4,4 | 2,2 | 1,0 | 1,4 | 22,6 | 5,6 | 33,6 | 48,2 | 48,20 |
| 2005 | 32,0 | 40,0 | 15,2 | 28,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 4,0 | 18,4 | 29,0 | 40,00 |
| 2006 | 38,6 | 41,2 | 44,4 | 10,8 | 8,1 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 29,7 | 4,3 | 24,3 | 44,40 |
| 2007 | 72,1 | 40,0 | 53,8 | 42,8 | 2,3 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 3,4 | 40,0 | 20,4 | 15,0 | 72,10 |
| 2008 | 26,5 | 25,3 | 19,2 | 6,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 3,6 | 20,4 | 21,0 | 73,6 | 73,60 |
| 2009 | 34,2 | 30,2 | 40,0 | 12,2 | 2,8 | 0,0 | 0,0 | 3,0 | 21,0 | 3,8 | 62,0 | 52,0 | 62,00 |
| 2010 | 21,6 | 51,2 | 24,6 | 9,6 | 1,2 | 1,0 | 0,0 | 0,4 | 0,2 | 4,0 | 14,2 | 22,4 | 51,20 |
| 2011 | 34,2 | 50,0 | 34,2 | 8,2 | 2,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 35,8 | 28,0 | 27,2 | 50,00 |
| 2012 | 18,8 | 57,8 | 54,0 | 24,8 | 0,8 | 3,4 | 1,4 | 1,0 | 2,8 | 7,8 | 15,8 | 13,8 | 57,80 |
| 2013 | 32,2 | 23,0 | 8,6 | 5,8 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 2,8 | 13,2 | 27,4 | 28,8 | 32,20 |
| 2014 | 77,0 | 13,8 | 14,0 | 9,2 | 0,6 | 2,8 | 0,0 | 3,2 | 0,4 | 9,8 | 33,2 | 31,2 | 77,00 |
| 2015 | 54,6 | 26,4 | 75,6 | 13,6 | 0,0 | 0,0 | 5,0 | 0,0 | 1,6 | 22,8 | 35,0 | 27,0 | 75,60 |
| 2016 | 20,4 | 60,8 | 21,0 | 16,6 | 0,2 | 2,0 | 0,0 | 23,2 | 9,2 | 10,2 | 71,6 | 25,6 | 71,60 |
| 2017 | 28,2 | 26,6 | 19,6 | 8,2 | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 9,0 | 14,2 | 31,4 | 24,6 | 31,40 |
| 2018 | 51,4 | 34,8 | 14,8 | 3,0 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 2,8 | 29,2 | 14,2 | 14,0 | 34,2 | 51,40 |
| 2019 | 26,6 | 47,2 | 22,2 | 35,0 | 2,0 | 0,0 | 11,2 | 2,8 | 0,0 | 43,0 | 66,4 | 27,2 | 66,40 |
| 2020 | 75,2 | 30,4 | 36,4 | 6,6 | 5,8 | 3,4 | 0,0 | 0,8 | 24,2 | 7,4 | 28,4 | 34,0 | 75,20 |
| 2021 | 30,0 | 27,8 | 32,4 | 6,2 | 1,4 | 0,0 | 1,6 | 0,0 | 23,2 | 7,0 | 44,4 | 24,0 | 44,40 |
| 2022 | 48,8 | 22,0 | 13,8 | 2,2 | 2,0 | 0,0 | 0,6 | 1,2 | 1,0 | 5,6 | 11,8 | 41,0 | 48,80 |
| MAX | 122,00 | 65,60 | 91,50 | 51,00 | 27,00 | 3,40 | 11,20 | 23,20 | 64,40 | 52,30 | 71,60 | 73,60 | 122,00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.23: Distribución de probabilidades pluviométricas

| Nº | Año | Mes Max. Precip. | Precipitación (mm) | |
|----|------|------------------------|--------------------|---------------|
| | | | x_i | $(x_i - x)^2$ |
| 1 | 1978 | 0 | 91,50 | 1305,96 |
| 2 | 1979 | 0 | 45,70 | 93,35 |
| 3 | 1980 | 0 | 38,20 | 294,53 |
| 4 | 1981 | 0 | 60,10 | 22,45 |
| 5 | 1982 | 0 | 59,60 | 17,96 |
| 6 | 1983 | 0 | 32,30 | 531,85 |
| 7 | 1984 | 0 | 48,50 | 47,09 |
| 8 | 1985 | 0 | 29,10 | 689,69 |
| 9 | 1986 | 0 | 40,10 | 232,93 |
| 10 | 1987 | 0 | 29,40 | 674,02 |
| 11 | 1988 | 0 | 46,80 | 73,31 |
| 12 | 1989 | 0 | 25,90 | 868,00 |
| 13 | 1992 | 0 | 65,60 | 104,82 |
| 14 | 1993 | 0 | 50,00 | 28,75 |
| 15 | 1995 | 0 | 65,40 | 100,76 |
| 16 | 1996 | 0 | 54,10 | 1,59 |
| 17 | 1997 | 0 | 60,00 | 21,51 |
| 18 | 1998 | 0 | 45,00 | 107,37 |
| 19 | 1999 | 0 | 64,40 | 81,69 |
| 20 | 2000 | 0 | 122,00 | 4440,64 |
| 21 | 2001 | 0 | 47,40 | 63,39 |
| 22 | 2002 | 0 | 43,20 | 147,91 |
| 23 | 2003 | 0 | 87,60 | 1039,29 |
| 24 | 2004 | 0 | 48,20 | 51,29 |
| 25 | 2005 | 0 | 40,00 | 235,99 |
| 26 | 2006 | 0 | 44,40 | 120,16 |
| 27 | 2007 | 0 | 72,10 | 280,16 |
| 28 | 2008 | 0 | 73,60 | 332,63 |
| 29 | 2009 | 0 | 62,00 | 44,06 |
| 30 | 2010 | 0 | 51,20 | 17,32 |
| 31 | 2011 | 0 | 50,00 | 28,75 |
| 32 | 2012 | 0 | 57,80 | 5,94 |
| 33 | 2013 | 0 | 32,20 | 536,47 |
| 34 | 2014 | 0 | 77,00 | 468,21 |
| 35 | 2015 | 0 | 75,60 | 409,58 |
| 36 | 2016 | 0 | 71,60 | 263,68 |
| 37 | 2017 | 0 | 31,40 | 574,17 |
| 38 | 2018 | 0 | 51,40 | 15,70 |
| 39 | 2019 | 0 | 66,40 | 121,84 |
| 40 | 2020 | 0 | 75,20 | 393,55 |
| 41 | 2021 | 0 | 44,40 | 120,16 |
| 42 | 2022 | 0 | 48,80 | 43,06 |

Fuente: Elaboración propia

| Cálculo variables probabilísticas | | | Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias | | | | |
|---|-------|----|---|----------------------|-----------------|------------------------|---|
| $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$ | 55,36 | mm | | | | | |
| $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$ | 19,16 | mm | Periodo retorno | Variable reducida | Precip. (mm) | Prob. de ocurrencia | Corrección intervalo fijo |
| $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s =$ | 14,94 | mm | Años | YT | XT(mm) | F(xT) | XT (mm) |
| $u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$ | 46,74 | mm | 2 | 0,3665 | 52,2144 | 0,5000 | 59,0023 |
| | | | 5 | 1,4999 | 69,1468 | 0,8000 | 78,1359 |
| | | | 10 | 2,2504 | 80,3576 | 0,9000 | 90,8040 |
| | | | 25 | 3,1985 | 94,5223 | 0,9600 | 106,8102 |
| | | | 50 | 3,9019 | 105,0306 | 0,9800 | 118,6846 |
| | | | 100 | 4,6001 | 115,4612 | 0,9900 | 130,4712 |
| | | | 500 | 6,2136 | 139,5649 | 0,9980 | 157,7083 |
| | | | | | | | $F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$ |

2.2.4.3. Prueba de bondad de ajuste Smirnoy Colmogrov

Tabla 2.24: Datos prueba de bondad de ajuste Smirnoy Colmogrov

| | |
|-----------|------------|
| Xmed= | 55,36 |
| S= | 19,16 |
| $\mu=$ | 46,7398276 |
| $\alpha=$ | 14,9449338 |

| m | x | P(x) m/(N+1) | Z (X-μ)/α | F(z) $e^{-e^{-z}}$ | Δ P(x)-F(z) |
|-------|--------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------|
| 12 | 25,90 | 0,27907 | -1,394441 | 0,017726 | 0,26134371 |
| 8 | 29,10 | 0,18605 | -1,180322 | 0,038565 | 0,14748192 |
| 10 | 29,40 | 0,23256 | -1,160248 | 0,041142 | 0,19141607 |
| 37 | 31,40 | 0,86047 | -1,026423 | 0,061356 | 0,79910928 |
| 33 | 32,20 | 0,76744 | -0,972893 | 0,070964 | 0,69647826 |
| 6 | 32,30 | 0,13953 | -0,966202 | 0,072227 | 0,06730815 |
| 3 | 38,20 | 0,06977 | -0,571420 | 0,170200 | 0,10043291 |
| 25 | 40,00 | 0,58140 | -0,450977 | 0,208077 | 0,37331809 |
| 9 | 40,10 | 0,20930 | -0,444286 | 0,210267 | 0,00096477 |
| 22 | 43,20 | 0,51163 | -0,236858 | 0,281602 | 0,23002609 |
| 26 | 44,40 | 0,60465 | -0,156563 | 0,310527 | 0,29412426 |
| 41 | 44,40 | 0,95349 | -0,156563 | 0,310527 | 0,642961 |
| 18 | 45,00 | 0,41860 | -0,116416 | 0,325152 | 0,09345281 |
| 2 | 45,70 | 0,04651 | -0,069577 | 0,342304 | 0,29579277 |
| 11 | 46,80 | 0,25581 | 0,004026 | 0,369361 | 0,11354667 |
| 21 | 47,40 | 0,48837 | 0,044174 | 0,384125 | 0,1042473 |
| 24 | 48,20 | 0,55814 | 0,097704 | 0,403767 | 0,15437272 |
| 7 | 48,50 | 0,16279 | 0,117777 | 0,411110 | 0,24831946 |
| 42 | 48,80 | 0,97674 | 0,137851 | 0,418437 | 0,55830704 |
| 14 | 50,00 | 0,32558 | 0,218146 | 0,447532 | 0,12195012 |
| 31 | 50,00 | 0,72093 | 0,218146 | 0,447532 | 0,27339872 |
| 30 | 51,20 | 0,69767 | 0,298440 | 0,476173 | 0,22150163 |
| 38 | 51,40 | 0,88372 | 0,311823 | 0,480893 | 0,40282826 |
| 16 | 54,10 | 0,37209 | 0,492486 | 0,542751 | 0,17065765 |
| 32 | 57,80 | 0,74419 | 0,740062 | 0,620590 | 0,12359596 |
| 5 | 59,60 | 0,11628 | 0,860504 | 0,655112 | 0,53883301 |
| 17 | 60,00 | 0,39535 | 0,887269 | 0,662471 | 0,2671219 |
| 4 | 60,10 | 0,09302 | 0,893960 | 0,664292 | 0,5712692 |
| 29 | 62,00 | 0,67442 | 1,021093 | 0,697536 | 0,02311757 |
| 19 | 64,40 | 0,44186 | 1,181683 | 0,735826 | 0,2939652 |
| 15 | 65,40 | 0,34884 | 1,248595 | 0,750581 | 0,4017439 |
| 13 | 65,60 | 0,30233 | 1,261978 | 0,753449 | 0,45112367 |
| 39 | 66,40 | 0,90698 | 1,315507 | 0,764649 | 0,14232754 |
| 36 | 71,60 | 0,83721 | 1,663451 | 0,827386 | 0,00982322 |
| 27 | 72,10 | 0,62791 | 1,696908 | 0,832561 | 0,20465358 |
| 28 | 73,60 | 0,65116 | 1,797276 | 0,847258 | 0,19609544 |
| 40 | 75,20 | 0,93023 | 1,904336 | 0,861637 | 0,06859583 |
| 35 | 75,60 | 0,81395 | 1,931101 | 0,865032 | 0,05107874 |
| 34 | 77,00 | 0,79070 | 2,024778 | 0,876321 | 0,08562303 |
| 23 | 87,60 | 0,53488 | 2,734048 | 0,937109 | 0,40222517 |
| 1 | 91,50 | 0,02326 | 2,995006 | 0,951195 | 0,92793908 |
| 20 | 122,00 | 0,46512 | 5,035832 | 0,993520 | 0,52840402 |
| total | 42 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

$$\Delta_{max} = 0,92793908$$

$$\Delta_o = 0,20985256 \quad \Delta_o = \frac{1,36}{\sqrt{N}}$$

$$\Delta_{max} < \Delta_o \quad \text{se ajusta..!!}$$

2.2.4.4. Distribución Gumbel

Tabla 2.25: Distribución Gumbel

| Años | | Cañas |
|------|------|--------|
| 1976 | 1977 | |
| 1977 | 1978 | 91,50 |
| 1978 | 1979 | 45,70 |
| 1979 | 1980 | 38,20 |
| 1980 | 1981 | 60,10 |
| 1981 | 1982 | 59,60 |
| 1982 | 1983 | 32,30 |
| 1983 | 1984 | 48,50 |
| 1984 | 1985 | 29,10 |
| 1985 | 1986 | 40,10 |
| 1986 | 1987 | 29,40 |
| 1987 | 1988 | 46,80 |
| 1988 | 1989 | 25,90 |
| 1991 | 1992 | 65,60 |
| 1992 | 1993 | 50,00 |
| 1994 | 1995 | 65,40 |
| 1995 | 1996 | 54,10 |
| 1996 | 1997 | 60,00 |
| 1997 | 1998 | 45,00 |
| 1998 | 1999 | 64,40 |
| 1999 | 2000 | 122,00 |
| 2000 | 2001 | 47,40 |
| 2001 | 2002 | 43,20 |
| 2002 | 2003 | 87,60 |
| 2003 | 2004 | 48,20 |
| 2004 | 2005 | 40,00 |
| 2005 | 2006 | 44,40 |
| 2006 | 2007 | 72,10 |
| 2007 | 2008 | 73,60 |
| 2008 | 2009 | 62,00 |
| 2009 | 2010 | 51,20 |
| 2010 | 2011 | 50,00 |
| 2011 | 2012 | 57,80 |
| 2012 | 2013 | 32,20 |
| 2013 | 2014 | 77,00 |
| 2014 | 2015 | 75,60 |
| 2015 | 2016 | 71,60 |
| 2016 | 2017 | 31,40 |
| 2017 | 2018 | 51,40 |
| 2018 | 2019 | 66,40 |
| 2019 | 2020 | 75,20 |
| 2020 | 2021 | 44,40 |
| 2021 | 2022 | 48,80 |

| | |
|----------------------------|--------|
| N | 42 |
| Media [M] | 55,36 |
| Desviacion [S] | 19,16 |
| Varianza [S ²] | 367,11 |
| Moda[E] | 46,74 |
| Caracteristica [k] | 0,74 |

| | |
|----|-------|
| Ed | 46,74 |
| Kd | 0,74 |

Con los datos obtenidos se procede a calcular las precipitaciones máximas probables
Método Gumbel modificado:

Tabla 2.26: Lluvias máximas probables correspondientes a diferentes tiempos (t)
inferiores a las diarias.

| T (años) | ht [mm] |
|----------|---------|
| 2 | 57,09 |
| 5 | 70,78 |
| 10 | 81,14 |
| 15 | 87,20 |
| 20 | 91,49 |
| 25 | 94,83 |
| 50 | 105,18 |
| 75 | 111,24 |
| 100 | 115,54 |
| 125 | 118,87 |
| 150 | 121,59 |
| 175 | 123,90 |
| 200 | 125,89 |
| 225 | 127,65 |
| 250 | 129,23 |

Lluvias probables correspondientes a diferentes tiempos (t) inferiores a las diarias

$$ht_i = h d_i * (t/\alpha)^b$$

Dónde:

ht_i= Valor modal para un tiempo t en horas

h d_i= Moda de la lluvia máxima diaria

t= Tiempo en horas

α= Tiempo correspondiente a la lluvia diaria

b= Exponente que varía de 0.20 a 0.30

Se considera que la lluvia diaria es igual a la lluvia de 12 horas, un exponente de 0,30 para tiempos menores a 2 horas y 0,20 para tiempos mayores a 2 horas.

Tabla 2.27: Lluvias máximas horarias (mm) para diferentes tiempos (t)

| T (años) | Duracion de la lluvia [min) y (hrs) | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 5 | 10 | 30 | 45 | 60 | 120 | 180 | 240 | 360 | 480 | 720 |
| | 0,08 | 0,17 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 6,00 | 8,00 | 12,00 |
| 2 | 21,13 | 24,27 | 30,24 | 32,79 | 34,73 | 39,90 | 43,27 | 45,83 | 49,70 | 52,65 | 57,09 |
| 5 | 26,20 | 30,09 | 37,49 | 40,65 | 43,06 | 49,47 | 53,64 | 56,82 | 61,62 | 65,27 | 70,78 |
| 10 | 30,03 | 34,50 | 42,97 | 46,60 | 49,36 | 56,70 | 61,49 | 65,13 | 70,64 | 74,82 | 81,14 |
| 15 | 32,27 | 37,07 | 46,18 | 50,08 | 53,05 | 60,93 | 66,08 | 70,00 | 75,91 | 80,40 | 87,20 |
| 20 | 33,86 | 38,90 | 48,46 | 52,55 | 55,66 | 63,94 | 69,34 | 73,45 | 79,65 | 84,37 | 91,49 |
| 25 | 35,10 | 40,32 | 50,22 | 54,46 | 57,69 | 66,27 | 71,87 | 76,12 | 82,55 | 87,44 | 94,83 |
| 50 | 38,93 | 44,72 | 55,71 | 60,41 | 63,99 | 73,50 | 79,71 | 84,43 | 91,57 | 96,99 | 105,18 |
| 75 | 41,17 | 47,29 | 58,91 | 63,89 | 67,67 | 77,74 | 84,30 | 89,30 | 96,84 | 102,58 | 111,24 |
| 100 | 42,76 | 49,12 | 61,19 | 66,36 | 70,29 | 80,74 | 87,56 | 92,75 | 100,58 | 106,54 | 115,54 |
| 125 | 44,00 | 50,54 | 62,96 | 68,27 | 72,32 | 83,07 | 90,09 | 95,42 | 103,48 | 109,61 | 118,87 |
| 150 | 45,00 | 51,70 | 64,40 | 69,84 | 73,97 | 84,97 | 92,15 | 97,61 | 105,85 | 112,12 | 121,59 |
| 175 | 45,86 | 52,67 | 65,62 | 71,16 | 75,38 | 86,58 | 93,90 | 99,46 | 107,86 | 114,25 | 123,90 |
| 200 | 46,59 | 53,52 | 66,67 | 72,31 | 76,59 | 87,98 | 95,41 | 101,06 | 109,60 | 116,09 | 125,89 |
| 225 | 47,25 | 54,27 | 67,61 | 73,32 | 77,66 | 89,21 | 96,74 | 102,47 | 111,13 | 117,71 | 127,65 |
| 250 | 47,83 | 54,94 | 68,44 | 74,22 | 78,62 | 90,31 | 97,94 | 103,74 | 112,50 | 119,16 | 129,23 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.28: Cálculo de las curvas IDF

| T (años) | Duracion de la lluvia [min) y (hrs) | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 30 | 45 | 60 | 120 | 180 | 240 | 360 | 480 | 720 |
| | 0,08 | 0,17 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 6,00 | 8,00 | 12,00 |
| 2 | 253,57 | 145,64 | 60,48 | 43,72 | 34,73 | 19,95 | 14,42 | 11,46 | 8,28 | 6,58 | 4,76 |
| 5 | 314,37 | 180,56 | 74,98 | 54,21 | 43,06 | 24,73 | 17,88 | 14,21 | 10,27 | 8,16 | 5,90 |
| 10 | 360,36 | 206,97 | 85,94 | 62,14 | 49,36 | 28,35 | 20,50 | 16,28 | 11,77 | 9,35 | 6,76 |
| 15 | 387,26 | 222,42 | 92,36 | 66,77 | 53,05 | 30,47 | 22,03 | 17,50 | 12,65 | 10,05 | 7,27 |
| 20 | 406,35 | 233,39 | 96,91 | 70,07 | 55,66 | 31,97 | 23,11 | 18,36 | 13,27 | 10,55 | 7,62 |
| 25 | 421,16 | 241,89 | 100,44 | 72,62 | 57,69 | 33,13 | 23,96 | 19,03 | 13,76 | 10,93 | 7,90 |
| 50 | 467,15 | 268,30 | 111,41 | 80,55 | 63,99 | 36,75 | 26,57 | 21,11 | 15,26 | 12,12 | 8,77 |
| 75 | 494,05 | 283,76 | 117,83 | 85,19 | 67,67 | 38,87 | 28,10 | 22,32 | 16,14 | 12,82 | 9,27 |
| 100 | 513,14 | 294,72 | 122,38 | 88,48 | 70,29 | 40,37 | 29,19 | 23,19 | 16,76 | 13,32 | 9,63 |
| 125 | 527,94 | 303,22 | 125,91 | 91,03 | 72,32 | 41,54 | 30,03 | 23,86 | 17,25 | 13,70 | 9,91 |
| 150 | 540,04 | 310,17 | 128,80 | 93,12 | 73,97 | 42,49 | 30,72 | 24,40 | 17,64 | 14,02 | 10,13 |
| 175 | 550,27 | 316,04 | 131,24 | 94,88 | 75,38 | 43,29 | 31,30 | 24,86 | 17,98 | 14,28 | 10,32 |
| 200 | 559,13 | 321,13 | 133,35 | 96,41 | 76,59 | 43,99 | 31,80 | 25,26 | 18,27 | 14,51 | 10,49 |
| 225 | 566,94 | 325,62 | 135,21 | 97,76 | 77,66 | 44,60 | 32,25 | 25,62 | 18,52 | 14,71 | 10,64 |
| 250 | 573,93 | 329,64 | 136,88 | 98,96 | 78,62 | 45,15 | 32,65 | 25,93 | 18,75 | 14,90 | 10,77 |

Fuente: Elaboración propia

2.2.4.5. Modelo Bernad

Tabla 2.29: Modelo Bernad

| n | T(años) | i (mm/h) | D(min) | Y=log i | X1=log T | X2=log D | Y*X1 | Y*X2 | X1*X2 | X1^2 | X2^2 |
|----|---------|----------|--------|---------|----------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 2 | 253,57 | 5 | 2,4041 | 0,3010 | 0,6990 | 0,7237 | 1,68040 | 0,21041 | 0,09062 | 0,48856 |
| 2 | 5 | 314,37 | 5 | 2,4974 | 0,6990 | 0,6990 | 1,7456 | 1,74564 | 0,48856 | 0,48856 | 0,48856 |
| 3 | 10 | 360,36 | 5 | 2,5567 | 1,0000 | 0,6990 | 2,5567 | 1,78708 | 0,69897 | 1,00000 | 0,48856 |
| 4 | 15 | 387,26 | 5 | 2,5880 | 1,1761 | 0,6990 | 3,0437 | 1,80894 | 0,82205 | 1,38319 | 0,48856 |
| 5 | 20 | 406,35 | 5 | 2,6089 | 1,3010 | 0,6990 | 3,3943 | 1,82354 | 0,90938 | 1,69268 | 0,48856 |
| 6 | 25 | 421,16 | 5 | 2,6244 | 1,3979 | 0,6990 | 3,6688 | 1,83441 | 0,97712 | 1,95424 | 0,48856 |
| 7 | 50 | 467,15 | 5 | 2,6695 | 1,6990 | 0,6990 | 4,5353 | 1,86587 | 1,18753 | 2,88650 | 0,48856 |
| 8 | 75 | 494,05 | 5 | 2,6938 | 1,8751 | 0,6990 | 5,0510 | 1,88286 | 1,31061 | 3,51585 | 0,48856 |
| 9 | 100 | 513,14 | 5 | 2,7102 | 2,0000 | 0,6990 | 5,4205 | 1,89437 | 1,39794 | 4,00000 | 0,48856 |
| 10 | 125 | 527,94 | 5 | 2,7226 | 2,0969 | 0,6990 | 5,7090 | 1,90301 | 1,46568 | 4,39703 | 0,48856 |
| 11 | 150 | 540,04 | 5 | 2,7324 | 2,1761 | 0,6990 | 5,9460 | 1,90988 | 1,52102 | 4,73537 | 0,48856 |
| 12 | 175 | 550,27 | 5 | 2,7406 | 2,2430 | 0,6990 | 6,1472 | 1,91558 | 1,56782 | 5,03122 | 0,48856 |
| 13 | 200 | 559,13 | 5 | 2,7475 | 2,3010 | 0,6990 | 6,3221 | 1,92043 | 1,60835 | 5,29474 | 0,48856 |
| 14 | 225 | 566,94 | 5 | 2,7535 | 2,3522 | 0,6990 | 6,4768 | 1,92464 | 1,64411 | 5,53276 | 0,48856 |
| 15 | 250 | 573,93 | 5 | 2,7589 | 2,3979 | 0,6990 | 6,6156 | 1,92836 | 1,67609 | 5,75012 | 0,48856 |
| 16 | 2 | 145,64 | 10 | 2,1633 | 0,3010 | 1,0000 | 0,6512 | 2,16328 | 0,30103 | 0,09062 | 1,00000 |
| 17 | 5 | 180,56 | 10 | 2,2566 | 0,6990 | 1,0000 | 1,5773 | 2,25662 | 0,69897 | 0,48856 | 1,00000 |
| 18 | 10 | 206,97 | 10 | 2,3159 | 1,0000 | 1,0000 | 2,3159 | 2,31591 | 1,00000 | 1,00000 | 1,00000 |
| 19 | 15 | 222,42 | 10 | 2,3472 | 1,1761 | 1,0000 | 2,7605 | 2,34718 | 1,17609 | 1,38319 | 1,00000 |
| 20 | 20 | 233,39 | 10 | 2,3681 | 1,3010 | 1,0000 | 3,0809 | 2,36808 | 1,30103 | 1,69268 | 1,00000 |
| 21 | 25 | 241,89 | 10 | 2,3836 | 1,3979 | 1,0000 | 3,3322 | 2,38362 | 1,39794 | 1,95424 | 1,00000 |
| 22 | 50 | 268,30 | 10 | 2,4286 | 1,6990 | 1,0000 | 4,1262 | 2,42863 | 1,69897 | 2,88650 | 1,00000 |
| 23 | 75 | 283,76 | 10 | 2,4529 | 1,8751 | 1,0000 | 4,5994 | 2,45295 | 1,87506 | 3,51585 | 1,00000 |
| 24 | 100 | 294,72 | 10 | 2,4694 | 2,0000 | 1,0000 | 4,9388 | 2,46941 | 2,00000 | 4,00000 | 1,00000 |
| 25 | 125 | 303,22 | 10 | 2,4818 | 2,0969 | 1,0000 | 5,2040 | 2,48176 | 2,09691 | 4,39703 | 1,00000 |
| 26 | 150 | 310,17 | 10 | 2,4916 | 2,1761 | 1,0000 | 5,4219 | 2,49160 | 2,17609 | 4,73537 | 1,00000 |
| 27 | 175 | 316,04 | 10 | 2,4997 | 2,2430 | 1,0000 | 5,6070 | 2,49975 | 2,24304 | 5,03122 | 1,00000 |
| 28 | 200 | 321,13 | 10 | 2,5067 | 2,3010 | 1,0000 | 5,7680 | 2,50669 | 2,30103 | 5,29474 | 1,00000 |
| 29 | 225 | 325,62 | 10 | 2,5127 | 2,3522 | 1,0000 | 5,9104 | 2,51271 | 2,35218 | 5,53276 | 1,00000 |
| 30 | 250 | 329,64 | 10 | 2,5180 | 2,3979 | 1,0000 | 6,0381 | 2,51804 | 2,39794 | 5,75012 | 1,00000 |
| 31 | 2 | 60,48 | 30 | 1,7816 | 0,3010 | 1,4771 | 0,5363 | 2,63162 | 0,44466 | 0,09062 | 2,18189 |
| 32 | 5 | 74,98 | 30 | 1,8749 | 0,6990 | 1,4771 | 1,3105 | 2,76948 | 1,03246 | 0,48856 | 2,18189 |
| 33 | 10 | 85,94 | 30 | 1,9342 | 1,0000 | 1,4771 | 1,9342 | 2,85707 | 1,47712 | 1,00000 | 2,18189 |
| 34 | 15 | 92,36 | 30 | 1,9655 | 1,1761 | 1,4771 | 2,3116 | 2,90326 | 1,73723 | 1,38319 | 2,18189 |
| 35 | 20 | 96,91 | 30 | 1,9864 | 1,3010 | 1,4771 | 2,5843 | 2,93412 | 1,92178 | 1,69268 | 2,18189 |
| 36 | 25 | 100,44 | 30 | 2,0019 | 1,3979 | 1,4771 | 2,7986 | 2,95708 | 2,06493 | 1,95424 | 2,18189 |
| 37 | 50 | 111,41 | 30 | 2,0469 | 1,6990 | 1,4771 | 3,4777 | 3,02357 | 2,50958 | 2,88650 | 2,18189 |
| 38 | 75 | 117,83 | 30 | 2,0712 | 1,8751 | 1,4771 | 3,8837 | 3,05948 | 2,76969 | 3,51585 | 2,18189 |
| 39 | 100 | 122,38 | 30 | 2,0877 | 2,0000 | 1,4771 | 4,1754 | 3,08380 | 2,95424 | 4,00000 | 2,18189 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----|--------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 40 | 125 | 125,91 | 30 | 2,1001 | 2,0969 | 1,4771 | 4,4036 | 3,10205 | 3,09739 | 4,39703 | 2,18189 |
| 41 | 150 | 128,80 | 30 | 2,1099 | 2,1761 | 1,4771 | 4,5913 | 3,11658 | 3,21435 | 4,73537 | 2,18189 |
| 42 | 175 | 131,24 | 30 | 2,1181 | 2,2430 | 1,4771 | 4,7509 | 3,12862 | 3,31324 | 5,03122 | 2,18189 |
| 43 | 200 | 133,35 | 30 | 2,1250 | 2,3010 | 1,4771 | 4,8897 | 3,13887 | 3,39890 | 5,29474 | 2,18189 |
| 44 | 225 | 135,21 | 30 | 2,1310 | 2,3522 | 1,4771 | 5,0125 | 3,14777 | 3,47446 | 5,53276 | 2,18189 |
| 45 | 250 | 136,88 | 30 | 2,1363 | 2,3979 | 1,4771 | 5,1228 | 3,15563 | 3,54205 | 5,75012 | 2,18189 |
| 46 | 2 | 43,72 | 45 | 1,6407 | 0,3010 | 1,6532 | 0,4939 | 2,71245 | 0,49767 | 0,09062 | 2,73311 |
| 47 | 5 | 54,21 | 45 | 1,7340 | 0,6990 | 1,6532 | 1,2120 | 2,86675 | 1,15555 | 0,48856 | 2,73311 |
| 48 | 10 | 62,14 | 45 | 1,7933 | 1,0000 | 1,6532 | 1,7933 | 2,96478 | 1,65321 | 1,00000 | 2,73311 |
| 49 | 15 | 66,77 | 45 | 1,8246 | 1,1761 | 1,6532 | 2,1459 | 3,01647 | 1,94433 | 1,38319 | 2,73311 |
| 50 | 20 | 70,07 | 45 | 1,8455 | 1,3010 | 1,6532 | 2,4011 | 3,05101 | 2,15088 | 1,69268 | 2,73311 |
| 51 | 25 | 72,62 | 45 | 1,8610 | 1,3979 | 1,6532 | 2,6016 | 3,07671 | 2,31109 | 1,95424 | 2,73311 |
| 52 | 50 | 80,55 | 45 | 1,9061 | 1,6990 | 1,6532 | 3,2383 | 3,15112 | 2,80876 | 2,88650 | 2,73311 |
| 53 | 75 | 85,19 | 45 | 1,9304 | 1,8751 | 1,6532 | 3,6196 | 3,19132 | 3,09987 | 3,51585 | 2,73311 |
| 54 | 100 | 88,48 | 45 | 1,9468 | 2,0000 | 1,6532 | 3,8937 | 3,21854 | 3,30643 | 4,00000 | 2,73311 |
| 55 | 125 | 91,03 | 45 | 1,9592 | 2,0969 | 1,6532 | 4,1082 | 3,23896 | 3,46664 | 4,39703 | 2,73311 |
| 56 | 150 | 93,12 | 45 | 1,9690 | 2,1761 | 1,6532 | 4,2848 | 3,25523 | 3,59754 | 4,73537 | 2,73311 |
| 57 | 175 | 94,88 | 45 | 1,9772 | 2,2430 | 1,6532 | 4,4349 | 3,26870 | 3,70822 | 5,03122 | 2,73311 |
| 58 | 200 | 96,41 | 45 | 1,9841 | 2,3010 | 1,6532 | 4,5655 | 3,28016 | 3,80409 | 5,29474 | 2,73311 |
| 59 | 225 | 97,76 | 45 | 1,9901 | 2,3522 | 1,6532 | 4,6812 | 3,29013 | 3,88866 | 5,53276 | 2,73311 |
| 60 | 250 | 98,96 | 45 | 1,9955 | 2,3979 | 1,6532 | 4,7850 | 3,29893 | 3,96430 | 5,75012 | 2,73311 |
| 61 | 2 | 34,73 | 60 | 1,5408 | 0,3010 | 1,7782 | 0,4638 | 2,73971 | 0,53528 | 0,09062 | 3,16182 |
| 62 | 5 | 43,06 | 60 | 1,6341 | 0,6990 | 1,7782 | 1,1422 | 2,90567 | 1,24287 | 0,48856 | 3,16182 |
| 63 | 10 | 49,36 | 60 | 1,6934 | 1,0000 | 1,7782 | 1,6934 | 3,01111 | 1,77815 | 1,00000 | 3,16182 |
| 64 | 15 | 53,05 | 60 | 1,7247 | 1,1761 | 1,7782 | 2,0284 | 3,06671 | 2,09127 | 1,38319 | 3,16182 |
| 65 | 20 | 55,66 | 60 | 1,7456 | 1,3010 | 1,7782 | 2,2710 | 3,10386 | 2,31343 | 1,69268 | 3,16182 |
| 66 | 25 | 57,69 | 60 | 1,7611 | 1,3979 | 1,7782 | 2,4619 | 3,13150 | 2,48575 | 1,95424 | 3,16182 |
| 67 | 50 | 63,99 | 60 | 1,8061 | 1,6990 | 1,7782 | 3,0685 | 3,21153 | 3,02103 | 2,88650 | 3,16182 |
| 68 | 75 | 67,67 | 60 | 1,8304 | 1,8751 | 1,7782 | 3,4322 | 3,25477 | 3,33414 | 3,51585 | 3,16182 |
| 69 | 100 | 70,29 | 60 | 1,8469 | 2,0000 | 1,7782 | 3,6938 | 3,28404 | 3,55630 | 4,00000 | 3,16182 |
| 70 | 125 | 72,32 | 60 | 1,8592 | 2,0969 | 1,7782 | 3,8987 | 3,30601 | 3,72862 | 4,39703 | 3,16182 |
| 71 | 150 | 73,97 | 60 | 1,8691 | 2,1761 | 1,7782 | 4,0673 | 3,32351 | 3,86942 | 4,73537 | 3,16182 |
| 72 | 175 | 75,38 | 60 | 1,8772 | 2,2430 | 1,7782 | 4,2107 | 3,33799 | 3,98846 | 5,03122 | 3,16182 |
| 73 | 200 | 76,59 | 60 | 1,8842 | 2,3010 | 1,7782 | 4,3355 | 3,35033 | 4,09158 | 5,29474 | 3,16182 |
| 74 | 225 | 77,66 | 60 | 1,8902 | 2,3522 | 1,7782 | 4,4461 | 3,36105 | 4,18254 | 5,53276 | 3,16182 |
| 75 | 250 | 78,62 | 60 | 1,8955 | 2,3979 | 1,7782 | 4,5453 | 3,37051 | 4,26390 | 5,75012 | 3,16182 |
| 76 | 2 | 19,95 | 120 | 1,2999 | 0,3010 | 2,0792 | 0,3913 | 2,70281 | 0,62590 | 0,09062 | 4,32299 |
| 77 | 5 | 24,73 | 120 | 1,3933 | 0,6990 | 2,0792 | 0,9739 | 2,89687 | 1,45329 | 0,48856 | 4,32299 |
| 78 | 10 | 28,35 | 120 | 1,4526 | 1,0000 | 2,0792 | 1,4526 | 3,02015 | 2,07918 | 1,00000 | 4,32299 |
| 79 | 15 | 30,47 | 120 | 1,4838 | 1,1761 | 2,0792 | 1,7451 | 3,08517 | 2,44531 | 1,38319 | 4,32299 |
| 80 | 20 | 31,97 | 120 | 1,5047 | 1,3010 | 2,0792 | 1,9577 | 3,12861 | 2,70508 | 1,69268 | 4,32299 |
| 81 | 25 | 33,13 | 120 | 1,5203 | 1,3979 | 2,0792 | 2,1253 | 3,16092 | 2,90657 | 1,95424 | 4,32299 |
| 82 | 50 | 36,75 | 120 | 1,5653 | 1,6990 | 2,0792 | 2,6594 | 3,25451 | 3,53247 | 2,88650 | 4,32299 |
| 83 | 75 | 38,87 | 120 | 1,5896 | 1,8751 | 2,0792 | 2,9806 | 3,30507 | 3,89859 | 3,51585 | 4,32299 |
| 84 | 100 | 40,37 | 120 | 1,6061 | 2,0000 | 2,0792 | 3,2121 | 3,33930 | 4,15836 | 4,00000 | 4,32299 |
| 85 | 125 | 41,54 | 120 | 1,6184 | 2,0969 | 2,0792 | 3,3937 | 3,36498 | 4,35986 | 4,39703 | 4,32299 |
| 86 | 150 | 42,49 | 120 | 1,6283 | 2,1761 | 2,0792 | 3,5432 | 3,38544 | 4,52449 | 4,73537 | 4,32299 |
| 87 | 175 | 43,29 | 120 | 1,6364 | 2,2430 | 2,0792 | 3,6705 | 3,40238 | 4,66368 | 5,03122 | 4,32299 |
| 88 | 200 | 43,99 | 120 | 1,6433 | 2,3010 | 2,0792 | 3,7814 | 3,41680 | 4,78426 | 5,29474 | 4,32299 |
| 89 | 225 | 44,60 | 120 | 1,6494 | 2,3522 | 2,0792 | 3,8796 | 3,42934 | 4,89061 | 5,53276 | 4,32299 |
| 90 | 250 | 45,15 | 120 | 1,6547 | 2,3979 | 2,0792 | 3,9678 | 3,44040 | 4,98575 | 5,75012 | 4,32299 |
| 91 | 2 | 14,42 | 180 | 1,1591 | 0,3010 | 2,2553 | 0,3489 | 2,61401 | 0,67890 | 0,09062 | 5,08625 |
| 92 | 5 | 17,88 | 180 | 1,2524 | 0,6990 | 2,2553 | 0,8754 | 2,82450 | 1,57637 | 0,48856 | 5,08625 |
| 93 | 10 | 20,50 | 180 | 1,3117 | 1,0000 | 2,2553 | 1,3117 | 2,95823 | 2,25527 | 1,00000 | 5,08625 |
| 94 | 15 | 22,03 | 180 | 1,3430 | 1,1761 | 2,2553 | 1,5794 | 3,02875 | 2,65241 | 1,38319 | 5,08625 |
| 95 | 20 | 23,11 | 180 | 1,3639 | 1,3010 | 2,2553 | 1,7744 | 3,07587 | 2,93418 | 1,69268 | 5,08625 |
| 96 | 25 | 23,96 | 180 | 1,3794 | 1,3979 | 2,2553 | 1,9283 | 3,11092 | 3,15274 | 1,95424 | 5,08625 |
| 97 | 50 | 26,57 | 180 | 1,4244 | 1,6990 | 2,2553 | 2,4200 | 3,21243 | 3,83164 | 2,88650 | 5,08625 |
| 98 | 75 | 28,10 | 180 | 1,4487 | 1,8751 | 2,2553 | 2,7165 | 3,26727 | 4,22877 | 3,51585 | 5,08625 |
| 99 | 100 | 29,19 | 180 | 1,4652 | 2,0000 | 2,2553 | 2,9304 | 3,30440 | 4,51055 | 4,00000 | 5,08625 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 100 | 125 | 30,03 | 180 | 1,4775 | 2,0969 | 2,2553 | 3,0983 | 3,33226 | 4,72910 | 4,39703 | 5,08625 |
| 101 | 150 | 30,72 | 180 | 1,4874 | 2,1761 | 2,2553 | 3,2367 | 3,35445 | 4,90768 | 4,73537 | 5,08625 |
| 102 | 175 | 31,30 | 180 | 1,4955 | 2,2430 | 2,2553 | 3,3545 | 3,37283 | 5,05866 | 5,03122 | 5,08625 |
| 103 | 200 | 31,80 | 180 | 1,5025 | 2,3010 | 2,2553 | 3,4572 | 3,38847 | 5,18945 | 5,29474 | 5,08625 |
| 104 | 225 | 32,25 | 180 | 1,5085 | 2,3522 | 2,2553 | 3,5483 | 3,40207 | 5,30481 | 5,53276 | 5,08625 |
| 105 | 250 | 32,65 | 180 | 1,5138 | 2,3979 | 2,2553 | 3,6300 | 3,41407 | 5,40801 | 5,75012 | 5,08625 |
| 106 | 2 | 11,46 | 240 | 1,0591 | 0,3010 | 2,3802 | 0,3188 | 2,52091 | 0,71651 | 0,09062 | 5,66541 |
| 107 | 5 | 14,21 | 240 | 1,1524 | 0,6990 | 2,3802 | 0,8055 | 2,74307 | 1,66370 | 0,48856 | 5,66541 |
| 108 | 10 | 16,28 | 240 | 1,2117 | 1,0000 | 2,3802 | 1,2117 | 2,88421 | 2,38021 | 1,00000 | 5,66541 |
| 109 | 15 | 17,50 | 240 | 1,2430 | 1,1761 | 2,3802 | 1,4619 | 2,95863 | 2,79935 | 1,38319 | 5,66541 |
| 110 | 20 | 18,36 | 240 | 1,2639 | 1,3010 | 2,3802 | 1,6444 | 3,00837 | 3,09673 | 1,69268 | 5,66541 |
| 111 | 25 | 19,03 | 240 | 1,2794 | 1,3979 | 2,3802 | 1,7886 | 3,04536 | 3,32739 | 1,95424 | 5,66541 |
| 112 | 50 | 21,11 | 240 | 1,3245 | 1,6990 | 2,3802 | 2,2502 | 3,15249 | 4,04391 | 2,88650 | 5,66541 |
| 113 | 75 | 22,32 | 240 | 1,3488 | 1,8751 | 2,3802 | 2,5290 | 3,21037 | 4,46304 | 3,51585 | 5,66541 |
| 114 | 100 | 23,19 | 240 | 1,3652 | 2,0000 | 2,3802 | 2,7305 | 3,24956 | 4,76042 | 4,00000 | 5,66541 |
| 115 | 125 | 23,86 | 240 | 1,3776 | 2,0969 | 2,3802 | 2,8887 | 3,27896 | 4,99109 | 4,39703 | 5,66541 |
| 116 | 150 | 24,40 | 240 | 1,3874 | 2,1761 | 2,3802 | 3,0192 | 3,30238 | 5,17956 | 4,73537 | 5,66541 |
| 117 | 175 | 24,86 | 240 | 1,3956 | 2,2430 | 2,3802 | 3,1303 | 3,32177 | 5,33890 | 5,03122 | 5,66541 |
| 118 | 200 | 25,26 | 240 | 1,4025 | 2,3010 | 2,3802 | 3,2272 | 3,33828 | 5,47694 | 5,29474 | 5,66541 |
| 119 | 225 | 25,62 | 240 | 1,4085 | 2,3522 | 2,3802 | 3,3132 | 3,35263 | 5,59869 | 5,53276 | 5,66541 |
| 120 | 250 | 25,93 | 240 | 1,4139 | 2,3979 | 2,3802 | 3,3904 | 3,36530 | 5,70760 | 5,75012 | 5,66541 |
| 121 | 2 | 8,28 | 360 | 0,9182 | 0,3010 | 2,5563 | 0,2764 | 2,34730 | 0,76952 | 0,09062 | 6,53468 |
| 122 | 5 | 10,27 | 360 | 1,0116 | 0,6990 | 2,5563 | 0,7071 | 2,58589 | 1,78678 | 0,48856 | 6,53468 |
| 123 | 10 | 11,77 | 360 | 1,0709 | 1,0000 | 2,5563 | 1,0709 | 2,73747 | 2,55630 | 1,00000 | 6,53468 |
| 124 | 15 | 12,65 | 360 | 1,1021 | 1,1761 | 2,5563 | 1,2962 | 2,81740 | 3,00645 | 1,38319 | 6,53468 |
| 125 | 20 | 13,27 | 360 | 1,1230 | 1,3010 | 2,5563 | 1,4611 | 2,87082 | 3,32583 | 1,69268 | 6,53468 |
| 126 | 25 | 13,76 | 360 | 1,1386 | 1,3979 | 2,5563 | 1,5917 | 2,91055 | 3,57356 | 1,95424 | 6,53468 |
| 127 | 50 | 15,26 | 360 | 1,1836 | 1,6990 | 2,5563 | 2,0109 | 3,02560 | 4,34308 | 2,88650 | 6,53468 |
| 128 | 75 | 16,14 | 360 | 1,2079 | 1,8751 | 2,5563 | 2,2649 | 3,08777 | 4,79322 | 3,51585 | 6,53468 |
| 129 | 100 | 16,76 | 360 | 1,2244 | 2,0000 | 2,5563 | 2,4487 | 3,12985 | 5,11261 | 4,00000 | 6,53468 |
| 130 | 125 | 17,25 | 360 | 1,2367 | 2,0969 | 2,5563 | 2,5933 | 3,16143 | 5,36034 | 4,39703 | 6,53468 |
| 131 | 150 | 17,64 | 360 | 1,2466 | 2,1761 | 2,5563 | 2,7126 | 3,18658 | 5,56275 | 4,73537 | 6,53468 |
| 132 | 175 | 17,98 | 360 | 1,2547 | 2,2430 | 2,5563 | 2,8144 | 3,20741 | 5,73388 | 5,03122 | 6,53468 |
| 133 | 200 | 18,27 | 360 | 1,2616 | 2,3010 | 2,5563 | 2,9031 | 3,22514 | 5,88213 | 5,29474 | 6,53468 |
| 134 | 225 | 18,52 | 360 | 1,2677 | 2,3522 | 2,5563 | 2,9818 | 3,24055 | 6,01289 | 5,53276 | 6,53468 |
| 135 | 250 | 18,75 | 360 | 1,2730 | 2,3979 | 2,5563 | 3,0526 | 3,25416 | 6,12986 | 5,75012 | 6,53468 |
| 136 | 2 | 6,58 | 480 | 0,8183 | 0,3010 | 2,6812 | 0,2463 | 2,19403 | 0,80713 | 0,09062 | 7,18905 |
| 137 | 5 | 8,16 | 480 | 0,9116 | 0,6990 | 2,6812 | 0,6372 | 2,44429 | 1,87411 | 0,48856 | 7,18905 |
| 138 | 10 | 9,35 | 480 | 0,9709 | 1,0000 | 2,6812 | 0,9709 | 2,60327 | 2,68124 | 1,00000 | 7,18905 |
| 139 | 15 | 10,05 | 480 | 1,0022 | 1,1761 | 2,6812 | 1,1787 | 2,68711 | 3,15338 | 1,38319 | 7,18905 |
| 140 | 20 | 10,55 | 480 | 1,0231 | 1,3010 | 2,6812 | 1,3311 | 2,74313 | 3,48838 | 1,69268 | 7,18905 |
| 141 | 25 | 10,93 | 480 | 1,0386 | 1,3979 | 2,6812 | 1,4519 | 2,78481 | 3,74821 | 1,95424 | 7,18905 |
| 142 | 50 | 12,12 | 480 | 1,0836 | 1,6990 | 2,6812 | 1,8411 | 2,90549 | 4,55535 | 2,88650 | 7,18905 |
| 143 | 75 | 12,82 | 480 | 1,1080 | 1,8751 | 2,6812 | 2,0775 | 2,97069 | 5,02749 | 3,51585 | 7,18905 |
| 144 | 100 | 13,32 | 480 | 1,1244 | 2,0000 | 2,6812 | 2,2488 | 3,01483 | 5,36248 | 4,00000 | 7,18905 |
| 145 | 125 | 13,70 | 480 | 1,1368 | 2,0969 | 2,6812 | 2,3837 | 3,04795 | 5,62232 | 4,39703 | 7,18905 |
| 146 | 150 | 14,02 | 480 | 1,1466 | 2,1761 | 2,6812 | 2,4951 | 3,07433 | 5,83463 | 4,73537 | 7,18905 |
| 147 | 175 | 14,28 | 480 | 1,1548 | 2,2430 | 2,6812 | 2,5902 | 3,09618 | 6,01413 | 5,03122 | 7,18905 |
| 148 | 200 | 14,51 | 480 | 1,1617 | 2,3010 | 2,6812 | 2,6731 | 3,11478 | 6,16962 | 5,29474 | 7,18905 |
| 149 | 225 | 14,71 | 480 | 1,1677 | 2,3522 | 2,6812 | 2,7467 | 3,13094 | 6,30677 | 5,53276 | 7,18905 |
| 150 | 250 | 14,90 | 480 | 1,1730 | 2,3979 | 2,6812 | 2,8129 | 3,14521 | 6,42946 | 5,75012 | 7,18905 |
| 151 | 2 | 4,76 | 720 | 0,6774 | 0,3010 | 2,8573 | 0,2039 | 1,93560 | 0,86014 | 0,09062 | 8,16435 |
| 152 | 5 | 5,90 | 720 | 0,7708 | 0,6990 | 2,8573 | 0,5387 | 2,20229 | 1,99719 | 0,48856 | 8,16435 |
| 153 | 10 | 6,76 | 720 | 0,8300 | 1,0000 | 2,8573 | 0,8300 | 2,37172 | 2,85733 | 1,00000 | 8,16435 |
| 154 | 15 | 7,27 | 720 | 0,8613 | 1,1761 | 2,8573 | 1,0130 | 2,46106 | 3,36048 | 1,38319 | 8,16435 |
| 155 | 20 | 7,62 | 720 | 0,8822 | 1,3010 | 2,8573 | 1,1478 | 2,52077 | 3,71748 | 1,69268 | 8,16435 |
| 156 | 25 | 7,90 | 720 | 0,8978 | 1,3979 | 2,8573 | 1,2550 | 2,56518 | 3,99438 | 1,95424 | 8,16435 |
| 157 | 50 | 8,77 | 720 | 0,9428 | 1,6990 | 2,8573 | 1,6017 | 2,69378 | 4,85452 | 2,88650 | 8,16435 |
| 158 | 75 | 9,27 | 720 | 0,9671 | 1,8751 | 2,8573 | 1,8133 | 2,76327 | 5,35767 | 3,51585 | 8,16435 |
| 159 | 100 | 9,63 | 720 | 0,9835 | 2,0000 | 2,8573 | 1,9671 | 2,81031 | 5,71466 | 4,00000 | 8,16435 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 160 | 125 | 9,91 | 720 | 0,9959 | 2,0969 | 2,8573 | 2,0883 | 2,84560 | 5,99157 | 4,39703 | 8,16435 |
| 161 | 150 | 10,13 | 720 | 1,0057 | 2,1761 | 2,8573 | 2,1886 | 2,87372 | 6,21782 | 4,73537 | 8,16435 |
| 162 | 175 | 10,32 | 720 | 1,0139 | 2,2430 | 2,8573 | 2,2742 | 2,89700 | 6,40911 | 5,03122 | 8,16435 |
| 163 | 200 | 10,49 | 720 | 1,0208 | 2,3010 | 2,8573 | 2,3489 | 2,91682 | 6,57481 | 5,29474 | 8,16435 |
| 164 | 225 | 10,64 | 720 | 1,0268 | 2,3522 | 2,8573 | 2,4153 | 2,93404 | 6,72097 | 5,53276 | 8,16435 |
| 165 | 250 | 10,77 | 720 | 1,0322 | 2,3979 | 2,8573 | 2,4751 | 2,94925 | 6,85171 | 5,75012 | 8,16435 |
| total | | | | 273,1544 | 275,1791 | 321,2549 | 466,1748 | 473,8807 | 535,7737 | 525,2817 | 697,9218 |

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| A | B | C | = |
| 165 | 275,1791 | 321,2549 | 273,1544 |
| 275,1791 | 525,2817 | 535,7737 | 466,1748 |
| 321,2549 | 535,7737 | 697,9218 | 473,8807 |

Comprobacion

| |
|-----------|
| 273,1544 |
| 466,1748 |
| 473,88069 |

| | | |
|----------------|--------------|----------|
| matriz inversa | | |
| 0,1003114 | -0,025135277 | -0,02688 |
| -0,025135 | 0,015071349 | -2,2E-16 |
| -0,026878 | -2,53292E-16 | 0,0138 |

| | |
|------------|-----------|
| resultados | |
| A | 2,9461208 |
| B | 0,1600718 |
| C | -0,8 |

| | |
|----|------------|
| λ= | 883,325534 |
| Ψ= | 0,16007181 |
| n= | 0,8 |

Modelo Bernard:

$$I = \frac{\lambda * T^{\Psi}}{D^n}$$

$$I = \frac{883,32553 * T^{0,16007181}}{0,800}$$

D

2.3. Diseños

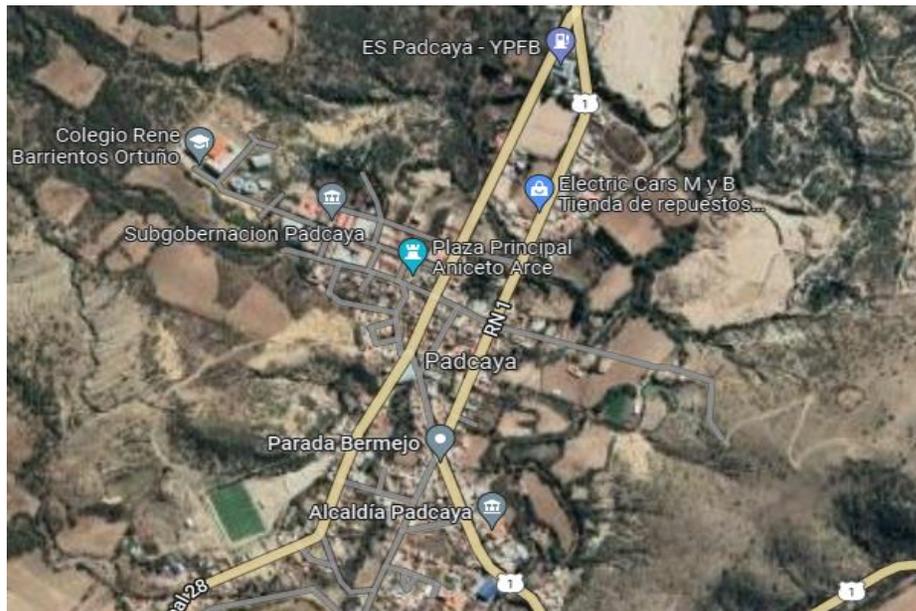
2.3.1. Diseño geométrico

2.3.1.1. Área de influencia en estudio

El área de influencia se define como el cuadro de referencia geográfico en el cual se efectuará el análisis y evaluación del estudio de tráfico en las intersecciones planteadas.

La zona central del pueblo de Padcaya fue considerada el área de estudio, la cual cuenta con calles principales y sus colindantes más cercanas.

Figura 2.15: Área de influencia en estudio



Fuente: Elaboración propia

2.3.1.2. Inventario vial y secciones transversales

El inventario vial se emplea para conocer las condiciones de operabilidad y funcionalidad de una vía, los componentes y estado de conservación de la infraestructura vial y señalización, se debe efectuar un inventario detallado de la vía para luego con esta información realizar trabajos previos de mantenimiento, reparación o ampliaciones de las vías.

2.3.1.3. Características geométricas de las calles

De acuerdo al estudio de la evaluación superficial que se le realizó a las calles del pueblo de Padcaya, ya se cuenta con una base de datos de las características geométricas de las mismas.

Tabla 2.30: Características geométricas de las calles

| Calles | Tramo | Ancho (m) | | | Tipo de pavimento |
|-----------------------|-------|-----------|------------------|------------------|-------------------|
| | | Carril | Vereda lateral 1 | Vereda lateral 2 | |
| Antonio José de Sucre | 1 | 6,00 | 1,60 | 1,40 | Asfalto flexible |
| | 2 | 6,00 | 1,60 | 1,50 | Asfalto flexible |
| | 3 | 6,00 | 1,60 | 1,30 | Asfalto flexible |
| | 4 | 6,00 | 1,60 | 1,30 | Empedrado |
| | 5 | 6,00 | 1,40 | 1,50 | Empedrado |
| | 6 | 6,00 | 1,30 | 1,10 | Empedrado |
| | 7 | 5,70 | 1,20 | 1,40 | Asfalto flexible |
| | 8 | 5,80 | 1,15 | 0,80 | Asfalto flexible |
| | 9 | 6,10 | 1,20 | 4,15 | Asfalto flexible |
| | 10 | 6,00 | 1,30 | 4,35 | Asfalto flexible |
| | 11 | 6,00 | 1,40 | 4,15 | Asfalto flexible |
| 8 de noviembre | 1 | 13,40 | 3,00 | 3,00 | Asfalto flexible |
| Campero | 1 | 5,70 | 1,80 | 0,87 | Empedrado |
| | 2 | 5,40 | 2,00 | 1,12 | Empedrado |
| | 3 | 5,20 | 1,80 | 1,10 | Empedrado |
| | 4 | 5,00 | 1,80 | 1,00 | Empedrado |
| | 5 | 4,40 | 1,15 | 0,80 | Empedrado |

| | | | | | |
|-------------------|---|------|------|------|------------------|
| | 6 | 440 | 1,00 | 0,70 | Empedrado |
| | 7 | 6,10 | 1,60 | 4,30 | Asfalto flexible |
| | 8 | 6,00 | 1,20 | 4,70 | Asfalto flexible |
| | 9 | 7,60 | 1,20 | 4,50 | Asfalto flexible |
| Avenida Tarija | 1 | 6,00 | 3,77 | 2,25 | Asfalto flexible |
| | 2 | 6,00 | 1,40 | 3,20 | Asfalto flexible |
| | 3 | 6,00 | 2,12 | 3,15 | Asfalto flexible |
| | 4 | 6,50 | 2,12 | 2,65 | Asfalto flexible |
| | 5 | 7,40 | 2,40 | 1,50 | Asfalto flexible |
| | 6 | 7,30 | 1,75 | 1,91 | Asfalto flexible |
| | 7 | 6,70 | 1,20 | 1,46 | Asfalto flexible |
| | 8 | 6,60 | 1,80 | 1,40 | Asfalto flexible |
| | 9 | 7,90 | 1,16 | 4,80 | Asfalto flexible |
| Gilberto Saavedra | 1 | 7,40 | 2,45 | 1,20 | Asfalto flexible |
| | 2 | 7,00 | 1,90 | 1,00 | Asfalto flexible |
| | 3 | 7,15 | 1,94 | 1,25 | Asfalto flexible |
| | 4 | 7,90 | 2,50 | 2,70 | Asfalto flexible |
| | 5 | 5,90 | 1,40 | 0,90 | Asfalto flexible |
| | 6 | 6,00 | 1,40 | 1,90 | Asfalto flexible |
| | 7 | 6,75 | 2,00 | 2,40 | Asfalto flexible |

| | | | | | |
|------------------|----|------|-------|------|------------------|
| | 8 | 6,10 | 1,85 | 1,10 | Losa |
| | 9 | 6,13 | 1,80 | 1,40 | Losa |
| | 10 | 5,80 | 0,95 | 1,40 | Losa |
| | 11 | 6,25 | 1,50 | 1,35 | Asfalto flexible |
| | 12 | 6,20 | 2,00 | 1,80 | Asfalto flexible |
| Av. Aniceto Arce | 1 | 8,00 | 4,40 | 1,00 | Asfalto flexible |
| | 2 | 8,10 | 1,80 | 3,30 | Asfalto flexible |
| | 3 | 7,20 | 2,20 | 2,20 | Asfalto flexible |
| | 4 | 7,50 | 2,10 | 4,30 | Asfalto flexible |
| | 5 | 7,50 | 6,00 | 4,10 | Asfalto flexible |
| | 6 | 7,20 | 4,00 | 3,30 | Asfalto flexible |
| | 7 | 7,10 | 5,00 | 3,60 | Asfalto flexible |
| | 8 | 7,10 | 5,00 | 3,60 | Asfalto flexible |
| | 9 | 7,00 | 5,50 | 4,50 | Asfalto flexible |
| | 10 | 7,70 | 11,00 | 4,30 | Asfalto flexible |
| | 11 | 8,70 | 3,00 | 3,20 | Asfalto flexible |
| | 12 | 8,80 | 1,50 | 2,30 | Asfalto flexible |
| | 13 | 8,50 | 2,60 | 2,30 | Asfalto flexible |
| | 14 | 8,50 | 2,60 | 2,20 | Asfalto flexible |
| | 15 | 8,40 | 2,80 | 1,90 | Asfalto flexible |

| | | | | | |
|---------------|----|-------|------|------|------------------|
| | 16 | 8,40 | 2,60 | 1,70 | Asfalto flexible |
| | 17 | 8,50 | 2,60 | 1,80 | Asfalto flexible |
| | 18 | 8,40 | 2,80 | 1,90 | Asfalto flexible |
| | 19 | 8,40 | 3,00 | 2,00 | Asfalto flexible |
| | 20 | 8,50 | 3,00 | 1,60 | Asfalto flexible |
| | 21 | 12,00 | 2,80 | 8,00 | Asfalto flexible |
| | 22 | 8,40 | 3,50 | 3,80 | Asfalto flexible |
| Av. Yamparaez | 1 | 6,80 | 2,50 | 1,30 | Asfalto flexible |
| | 2 | 7,80 | 1,26 | 6,15 | Asfalto flexible |
| | 3 | 7,80 | 2,70 | 7,00 | Asfalto flexible |
| | 4 | 7,50 | 3,10 | 5,00 | Asfalto flexible |
| | 5 | 7,90 | 2,15 | 1,70 | Asfalto flexible |
| Calle 1 | 1 | 7,00 | 1,60 | 1,60 | Asfalto flexible |
| | 2 | 7,00 | 1,70 | 1,60 | Asfalto flexible |
| | 3 | 7,40 | 1,40 | 1,80 | Asfalto flexible |
| | 4 | 7,40 | 1,90 | 1,50 | Asfalto flexible |
| | 5 | 7,00 | 2,10 | 1,50 | Asfalto flexible |
| Calle 2 | 1 | 7,60 | 2,80 | 2,80 | Asfalto flexible |
| | 2 | 7,30 | 3,00 | 2,00 | Asfalto flexible |
| | 3 | 7,30 | 2,40 | 2,30 | Asfalto flexible |

| | | | | | |
|---------|---|------|------|------|------------------|
| | 4 | 7,10 | 1,60 | 2,20 | Asfalto flexible |
| Calle 3 | 1 | 7,40 | 1,20 | 1,20 | Empedrado |
| Calle 4 | 1 | 7,30 | 1,30 | 1,50 | Asfalto flexible |
| | 2 | 6,40 | 2,40 | 1,70 | Asfalto flexible |
| | 3 | 6,30 | 2,50 | 1,50 | Asfalto flexible |
| | 4 | 6,80 | 1,70 | 2,30 | Asfalto flexible |
| Calle 5 | 1 | 5,10 | 1,00 | 0,90 | Asfalto flexible |
| | 2 | 5,00 | 0,70 | 1,00 | Asfalto flexible |
| | 3 | 5,00 | 1,10 | 1,00 | Asfalto flexible |
| | 4 | 5,70 | 0,90 | 0,90 | Asfalto flexible |
| Calle 6 | 1 | 4,50 | 0,50 | 1,20 | Asfalto flexible |
| | 2 | 4,50 | 0,70 | 1,00 | Asfalto flexible |
| | 3 | 5,00 | 1,40 | 0,50 | Asfalto flexible |
| | 4 | 7,20 | 5,20 | 5,00 | Tierra |
| | 5 | 9,10 | 5,30 | 3,00 | Tierra |
| | 6 | 9,00 | 3,70 | 2,00 | Tierra |
| Calle 7 | 1 | 6,80 | 1,00 | 0,90 | Empedrado |
| | 2 | 6,50 | 1,00 | 2,40 | Empedrado |
| | 3 | 9,00 | 1,60 | 2,25 | Asfalto flexible |
| Calle 8 | 1 | 5,80 | 1,40 | 1,90 | Tierra |

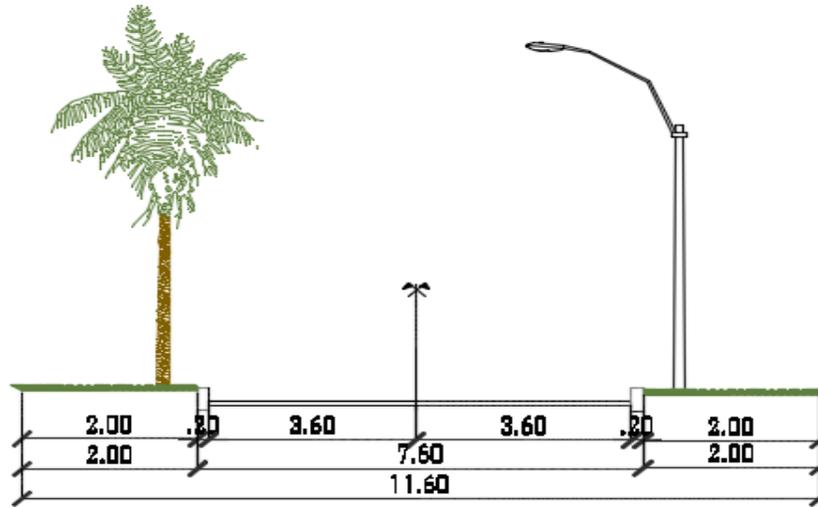
| | | | | | |
|----------|---|------|------|------|-----------|
| | 2 | 5,60 | 1,30 | 2,30 | Tierra |
| | 3 | 6,00 | 1,40 | 1,50 | Tierra |
| | 4 | 4,40 | 1,60 | 1,30 | Tierra |
| | 5 | 4,30 | 2,60 | 1,30 | Tierra |
| | 6 | 4,60 | 1,00 | 0,90 | Tierra |
| | 7 | 5,20 | 1,00 | 3,80 | Tierra |
| Calle 9 | 1 | 5,30 | 1,20 | 1,00 | Empedrado |
| | 2 | 5,40 | 1,15 | 0,90 | Empedrado |
| | 3 | 5,40 | 1,40 | 0,95 | Empedrado |
| Calle 10 | 1 | 5,00 | 2,30 | 1,50 | Empedrado |
| | 2 | 5,00 | 1,90 | 1,40 | Empedrado |
| | 3 | 5,00 | 2,00 | 1,20 | Empedrado |

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4. Secciones transversales

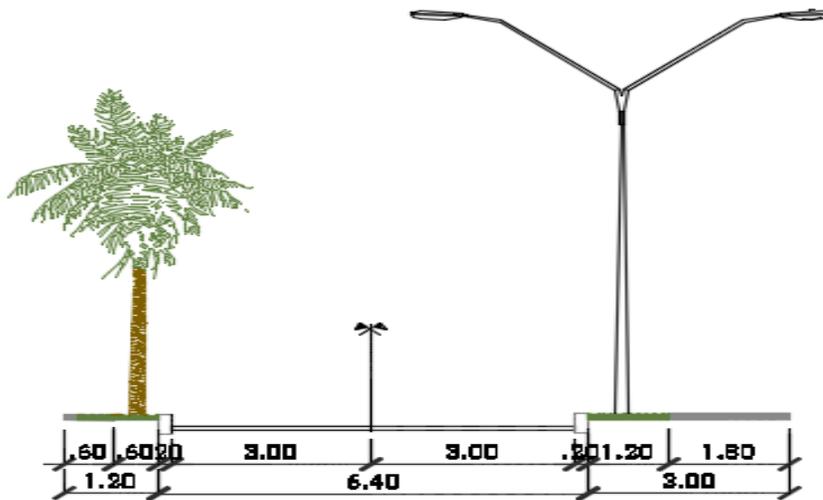
Geoméricamente, la sección transversal de una carretera está compuesta por el ancho de la zona o derecho de vía, ancho de explanación, la calzada, los carriles, los espaldones, cunetas, parterres, bordillos, aceras. (ABC, Manual de diseño geométrico (volumen I), 2007)

Figura 2.16: Sección transversal típica Calle Avenida Tarija



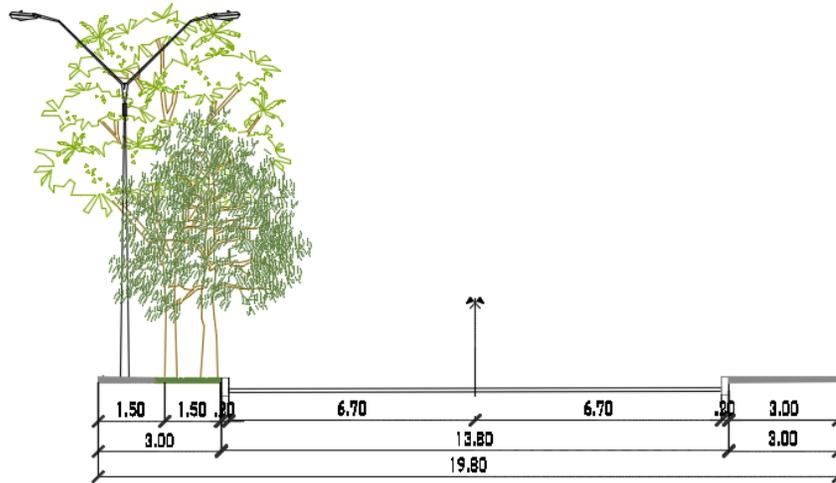
Fuente: Elaboración propia

Figura 2.17: Sección transversal típica Calle Antonio José de Sucre



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.18: Sección transversal típica calle 8 de noviembre



Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Diseño estructural del pavimento

Antes de la obtención del diseño estructural se debe determinar el estado actual de las calles de la localidad de Padcaya, y para esto se realizó una evaluación superficial y una evaluación estructural.

2.3.2.1. Evaluación superficial

Se realizó una evaluación superficial mediante el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) que se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la tabla se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 2.31: Rangos de calificación del PCI

| Rango | Clasificación |
|----------|---------------|
| 100 – 85 | Excelente |
| 85 – 70 | Muy bueno |
| 70 – 55 | Bueno |
| 55 – 40 | Regular |
| 40 – 25 | Malo |
| 25 – 10 | Muy malo |
| 10 - 0 | Fallado |

Fuente: (P. Leguía, H. Pacheco, 2016)

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presente.

2.3.2.1.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

Se utilizó la siguiente tabla para su descripción de datos obtenidos en las observaciones:

Tabla 2.33: Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

| Ancho de calzada (m) | Longitud de la unidad de muestreo (m) |
|----------------------|---------------------------------------|
| 5,00 | 46,00 |
| 5,50 | 41,80 |
| 6,00 | 38,30 |
| 6,50 | 35,40 |
| 7,30 (máximo) | 31,50 |

- B. Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior a 7,60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

2.3.2.1.3. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación:

En la “Evaluación de una red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación, la cual produce un estimado del $PCI \pm 5,00$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N= Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

E= Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse. Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse. (P. Leguia, H. Pacheco, 2016)

2.3.2.1.4. Selección de las unidades de muestreo para inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- a) El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3,70 se redondea a 3,00)

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

2.3.2.1.5. Levantamiento visual del daño de pavimento

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

- a. Equipo.
 - Flexómetro para medir las longitudes y las áreas de los daños.
 - Regla para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
 - Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- b. Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad de muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

2.3.2.1.6. Obtención de los datos

1. Identificar tramos o áreas en el pavimento que verifiquen los diferentes daños, o áreas en las que se identifiquen con mayor visibilidad los daños. Se ha definido como red de pavimento, a 2990,00 m de pavimento asfaltado que forma parte de las calles de Padcaya. Dentro de ese sistema, se encuentran 33 calles de pavimento. Como se puede apreciar en la imagen:

Figura 2.19: Plano satelital de la comunidad de Padcaya



Fuente: Elaboración propia

2. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.

No se presentan variaciones de tránsito importantes entre diferentes sectores de las calles; por lo que el tráfico vehicular no puede ser considerado como criterio de división de tramos. Para hacer la división de tramos, se toma en cuenta el estado en que se encuentra el pavimento. Se hace un recorrido y se determinan dos tramos de los cuales uno es el Tramo Carretero Ruta Tarija-Bermejo, en el que el pavimento se encuentra en un estado aceptable; el otro es el tramo intermedio Tarija-Santuario de Chaguaya que se encuentra en un estado muy deteriorado. El tramo 1 no se lo divide en secciones, pero cuenta con 10 puntos de muestra, el tramo 2 se divide en dos secciones, la primera presenta un pavimento con fallas aceptables con 15 puntos de muestra, la segunda cuenta con un pavimento muy deteriorado con 11 puntos de muestra.

3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra. Como el ancho de calle es un valor que varía de 5,00 a 7,40 metros, se definieron las siguientes

dimensiones para las unidades de muestra: 5,00 x 46,00 metros, abarcando un área de 230,00 m², y para: 7,40 x 32,00 metros, abarcando un área de 236,80 m².

4. Cada unidad de muestra es señalada en el pavimento e identificada por medio de un código, como, por ejemplo, M-1 indica que se trata de la Unidad de muestra 1. Esto permitirá su fácil localización en caso que se quiera verificar alguna información.

5. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. En este caso, se estudiarán todas las unidades de muestra existentes dentro de la red de pavimento, para obtener una mejor estimación del estado en que se encuentran.

6. Inspeccionar cada unidad de muestra seleccionada.

7. Registrar el tramo y número de sección, así como el número de unidad de muestra.

8. Registrar el tamaño de unidad de muestra medido con el flexómetro (de 46,00 metros de longitud, por 5,00 metros de ancho de carril y 32,00 metros de longitud, por 7,40 metros de ancho de carril).

9. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el Capítulo 2 del documento.

10. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

2.3.2.1.7. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Luego de culminar la inspección de campo, la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo del PCI está basado en los “valores deducidos” de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas. El cálculo del PCI, puede realizarse en forma manual o computarizada y el cálculo para cada tipo de pavimento es similar. A continuación, se describe el cálculo del PCI para cada pavimento flexible. Con la finalidad de facilitar el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

PASO 1: Determinación de los Valores Deducidos (VD):

a. Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna de “Total” del formato. El daño puede medirse en área, longitud o por su número según sea el tipo.

b. Divida la “Cantidad total” de cada tipo de daño, en cada nivel de severidad, entre el “área de muestra” de la unidad de muestreo y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

c. Determine el “Valor Deducido” para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas o tablas denominadas “valor deducido del daño”, que se encuentra en el anexo B; de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

PASO 2: Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

a. Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), obtenido en el Paso 4; de lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.

b. Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.

c. Determine el “Número Máximo de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación, para carreteras pavimentadas:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100.00 - HDV_i)$$

Dónde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos, incluyendo la fracción para la unidad de muestreo i. ($m_i \leq 10$).

HDV_i = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan los que se tengan.

PASO 3: Determinación del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se lo realiza mediante un proceso iterativo que se lo describe a continuación:

a. Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

b. Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

- c. Determine el CDV con el q y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.
- d. Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas a hasta c.
- e. El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en el proceso de iteración indicado.

PASO 4: Calcule el PCI, restando el “máximo CDV” de 100.

$$PCI = 100.00 - \text{max. } CDV$$

Dónde:

PCI = Índice de condición presente Máx.

CDV= Máximo valor corregido deducido (P. Leguia, H. Pacheco, 2016)

2.3.2.1.8. Levantamiento de la información de campo

Los tipos de fallas para pavimentos flexibles se detallan en la siguiente tabla asignándole a cada tipo de falla su correspondiente numeración.

Tabla 2.34: Tipos de fallas

| Falla N° | Tipo - nombre | Unidad |
|----------|---------------------------------|--------|
| 1 | Grieta piel de cocodrilo | m2 |
| 2 | Exudación de asfaltos | m2 |
| 3 | Grietas de contracción (bloque) | m2 |
| 4 | Elevaciones – hundimientos | m |
| 5 | Corrugaciones | m2 |
| 6 | Depresiones | m2 |
| 7 | Grietas de borde | m |
| 8 | Grietas de reflexión de juntas | m |

| | | |
|----|--|----------------|
| 9 | Desnivel calzada + hombrillo | m |
| 10 | Grietas longitudinales y transversales | m |
| 11 | Baches y zanjas reparadas | m ² |
| 12 | Agregado pulidos | m ² |
| 13 | Huecos | No. |
| 14 | Cruce de rieles | m ² |
| 15 | Ahuellamiento | m ² |
| 16 | Deformación por empuje | m ² |
| 17 | Grietas deslizamientos | m ² |
| 18 | Hinchamiento | m ² |
| 19 | Disgregación y desintegración | m ² |

Fuente: Evaluación superficial del pavimento flexible por el método PCI, P. Leguía – H. Pacheco.

Para la obtención de número total de muestras, no se puede dividir la longitud total de la vía entre la longitud de la muestra, ya que, el ancho de calzada varía en las diferentes calles, es por esto que se determina el número de calles del número total de unidades de muestra (N). De la siguiente manera:

Datos:

N= 36 calles asfaltadas

e= 5% (0.05)

$\alpha=10$ (asumiendo al visualizar el pavimento para rango de PCI de 25)

n=36 calles

Mediante la ecuación, se calculan las unidades de muestra a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio.

Datos:

$N = 36$ calles $i = 1$ cada calle una muestra

$n = 36$ calles

2.3.2.1.9. Determinación del PCI en el tramo de estudio

Con la información de daños presentes en la unidad de muestreo seleccionada y los grados de severidad, se determinaron las áreas correspondientes de cada falla y se recopiló toda la información en el formato para carreteras con superficie asfáltica.

Una vez recopilada la información se procedió a determinar por cada falla los valores deducidos VD, los valores deducidos individuales (mi), los valores deducidos corregidos CDV, el número de valores deducidos (q) mayores que 2, y con el valor deducido total y con el máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente en el tramo de estudio PCI (los resultados expuestos en las tablas se demostrarán en los anexos).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en su formato correspondiente:

I. TRAMO 1

- Unidad de muestra M22

La unidad de muestra M22 tiene 237,8 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, fisura de borde, fisuras longitudinales y transversales. La falla más influyente en el deterioro del pavimento son las fisuras de borde con áreas de 5,25 m², 1,43 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 1 valor deducido: 1,11. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 1,11; dando como resultado un índice de 98 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M23

La unidad de muestra M23 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisura de borde, fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro del pavimento son las fisuras de borde que tienen grandes longitudes.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 1 valor deducido de 49,70. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 49,70; dando como resultado un índice de 50 que corresponde a un pavimento REGULAR.

- Unidad de muestra M29

La unidad de muestra M29 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisura de borde, fisuras longitudinales y transversales. La falla más influyente en el deterioro del pavimento son las fisuras de borde que tienen grandes longitudes.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 1 valor deducido de 0,60. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,60; dando como resultado un índice de 99,40 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M30

La unidad de muestra M30 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales y parches. La falla más influyente en el deterioro son los parches, aunque su severidad es baja ya que fue hecho recientemente.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 1 valor deducido: 0,75. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,75; dando como resultado un índice de 99 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M31

La unidad de muestra M31 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales y parches. La falla más influyente en el deterioro son los parches, aunque su severidad es baja ya que fue hecho recientemente.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 1 valor deducido: 0,85. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,85; dando como resultado un índice de 99 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M32

La unidad de muestra M32 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales y desniveles localizados. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: fisuras longitudinales y transversales, fisuramiento de borde. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro es de piel de cocodrilo, con un área de 2,25 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 4 valor deducido: 31,20; 9,03; 7,32; 4,71. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 33,70; dando como resultado un índice de 66 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M33

La unidad de muestra M33 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales y parches. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron:

fisuras longitudinales y transversales, fisuramiento de borde. La falla más influyente en el deterioro son fisuramiento de borde con áreas de 2,25 m² y 2,00 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 3 valor deducido: 8,44; 6,71; 4,22. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 12,12; dando como resultado un índice de 87 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M34

La unidad de muestra M34 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parches. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: fisuramiento de borde, baches. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: fisuramiento de borde. La falla más influyente en el deterioro son fisuramiento de borde con áreas de 2,40 m² y 2,10 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 4 valor deducido: 12,12; 8,95; 8,90; 7,31. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 18,60; dando como resultado un índice de 81 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M35

La unidad de muestra M35 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, parches. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro es la piel de cocodrilo con áreas de 0,40 y 0,11 m², los parches en un deterioro medio con áreas de 5,00; 7,50; 2,50 y 1,00 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 5 valor deducido: 24,27; 12,26; 8,90; 6,60; 3,00. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 35,20; dando como resultado un índice de 64 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M36

La unidad de muestra M36 tiene 237,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Bermejo, la sección con fallas aceptables.

Las fallas encontradas son varias con diferentes tipos de severidad, como piel de cocodrilo, fisura de bloque, desniveles localizados, fisura de borde, fisuramiento longitudinal y transversal, parches baches y desprendimiento de agregados.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo 8 valor deducido: 23,16; 17,70; 17,46; 14,00; 12,36; 11,51; 8,80; 7,75. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 56,58; dando como resultado un índice de 43 que corresponde a un pavimento REGULAR.

II. TRAMO 2

i. SECCIÓN 1

- Unidad de muestra M1

La unidad de muestra M1 tiene 230,40 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables.

No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo son fisuras longitudinales y transversales. No se encontraron fallas con mayor severidad.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor deducido de 2,32. Siguiendo el procedimiento del PCI con un resultado de PCI de 97 calificación EXCELENTE.

- Unidad de muestra M2

La unidad de muestra M2 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el

deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo de estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 2 valores deducidos: 1,82 y 18,90. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 18,90; dando como resultado un índice de 81 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M3

La unidad de muestra M3 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo de estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo.

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 2 valores deducidos: 5,61; 21,50. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 23,50; dando como resultado un índice de 76 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M4

La unidad de muestra M4 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron de fisuras longitudinales y transversales. La falla más influyente en el deterioro del pavimento son las fisuras longitudinales y transversales, se encuentran en diferentes secciones del tramo por ser de severidad baja con poca profundidad y de poca longitud.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor deducido de 0,51. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,50; dando como resultado un índice de 99 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M5

La unidad de muestra M5 tiene 242,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos, pulimiento de agregados. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo de estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo.

Como se aprecia en la tabla, se obtuvieron 3 valores deducidos: 0,78; 16,37; 7,70. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 18,37; dando como resultado un índice de 82 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M6

La unidad de muestra M6 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo a estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo.

Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor deducido de 13,70. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 13,7; dando como resultado un índice de 86 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M7

La unidad de muestra M7 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo, desniveles localizados, baches. Las fallas con nivel de severidad alto son fisuras longitudinales y transversales, fisuramiento en bloque, fisuramiento en borde. La falla más influyente en el deterioro del pavimento son las fisuras longitudinales y transversales, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo a estudio con mucho deterioro que afecta al circulamiento. Se encuentra en un nivel de deterioro alto debido a que está presente hace mucho tiempo.

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron valores deducidos 17,10; 13,97; 12,27; 11,50; 8,90. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 41, dando como resultado un índice de 58 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M13

La unidad de muestra M13 tiene 230,40 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: parche y acometidas de servicios públicos. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: grieta de borde. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo de estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 2 valores

deducidos: 10,10; 9,60. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 13,9; dando como resultado un índice de 86 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M20

La unidad de muestra M20 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la de piel de cocodrilo ya que se encuentra en diferentes secciones de la muestra con severidad baja y media. Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor de 0,82. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,82; dando como resultado un índice de 99 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M21

La unidad de muestra M21 tiene 231,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la de piel de cocodrilo ya que se encuentra en diferentes secciones de la muestra con severidad baja y media. Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor de 18,32. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 18,32; dando como resultado un índice de 81 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M24

La unidad de muestra M24 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo y huecos. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la piel de cocodrilo ya que se encuentra en una severidad alta con diferentes áreas que son de 1,50; 1,17 m², también presenta dos huecos de severidad media con 0,06 y 0,09 m² de área. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 4 valores deducidos: 33,60; 28,80; 19,20; 2,69. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 55, dando como resultado un índice de 44 que corresponde a un pavimento REGULAR.

- Unidad de muestra M25

La unidad de muestra M25 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo, abultamientos y hundimientos. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la de abultamientos y hundimientos ya que se encuentra en una severidad alta con un área de 5.00 m², también presenta piel de cocodrilo con una severidad alta con áreas de 1,15; 0,85; 1,30 m².

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 4 valores deducidos: 50,70; 36,50; 19,70; 2,12. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 66, dando como resultado un índice de 33 que corresponde a un pavimento MALO.

- Unidad de muestra M26

La unidad de muestra M26 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: fisuras longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el

deterioro del pavimento es la de parche y acometidas de servicios públicos ya que se encuentra en toda la longitud de la muestra. Como se aprecia en la tabla se obtuvo un valor deducido de 0,60. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 0,60; dando como resultado un índice de 99 que corresponde a un pavimento EXCELENTE.

- Unidad de muestra M27

La unidad de muestra M27 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, parche y acometidas de servicios públicos. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: abultamientos y hundimientos, grieta de borde, grietas longitudinales y transversales. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la de abultamiento y hundimiento ya que se encuentra en una severidad alta con un área de 3 m², también presenta grietas de borde de severidad alta con 10,00 y 5,00 m de longitud, y grietas longitudinales y transversales de 0,75 y 3,00 m. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 5 valores deducidos: 42,00; 20,06; 14,80; 14,12; 3,00. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 59,5; dando como resultado un índice de 40 que corresponde a un pavimento REGULAR.

- Unidad de muestra M28

La unidad de muestra M28 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección con fallas aceptables. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 1 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos, ya que se encuentra en toda la longitud del tramo de estudio y fue realizado para una rehabilitación de la calle por el deterioro al realizar la instalación de los servicios básicos. Se encuentra en un nivel de deterioro bajo debido a que el parche fue realizado no hace mucho tiempo. Como se aprecia en la tabla

se obtuvieron 2 valores deducidos: 4,75; 19,27. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 21,2; dando como resultado un índice de 78 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

ii. SECCIÓN 2

○ Unidad de muestra M8

La unidad de muestra M8 tiene 231,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, depresión, grieta de borde, grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo, parche y acometidas de servicios públicos. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos ya que se encuentra en una severidad alta con 23,00; 16,00 m² de áreas, también presenta piel de cocodrilo de 0,30; 0,40 y 0,55 de áreas afectadas. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 6 valores deducidos: 57,52; 49,10; 25,50; 23,90; 8,34; 6,70. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 83.2, dando como resultado un índice de 16 que corresponde a un pavimento MUY MALO.

○ Unidad de muestra M9

La unidad de muestra M9 tiene 241,20 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: grietas longitudinales y transversales, desplazamiento, agregado pulido. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: grietas longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicio. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el agregado pulido ya que se encuentra en una severidad media con 18,70 m² y 25,50 m²

de área, también presenta grietas longitudinales y transversales con longitudes de 0,50; 0,85; 1,00 m. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 6 valores deducidos: 17,16; 7,78; 7,07; 5,50; 4,25; 2,30. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 25,66; dando como resultado un índice de 74 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M10

La unidad de muestra M10 tiene 241,20 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo, depresión, grietas longitudinales y transversales, huecos. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo, depresión, parche y acometidas de servicio. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el parche y acometidas de servicios públicos ya que se encuentra en una severidad alta con 17,00 m² de área, también presenta piel de cocodrilo con 0,55; 1,10; 1,25 m de longitud y depresión de 0,09 m² de área. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 9 valores deducidos: 40,27; 30,93; 24,69; 12,40; 8,20; 7,73; 5,13; 3,33; 2,73. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 67, dando como resultado un índice de 33 que corresponde a un pavimento MALO.

- Unidad de muestra M11

La unidad de muestra M11 tiene 229,40 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales, pulimiento de agregados. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: huecos, desprendimiento de agregados. Las fallas encontradas

con nivel de severidad alto fueron: grietas longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicio. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el pulimiento de agregados que está presente en una parte de la muestra, parche y acometidas de servicios públicos ya que se encuentra en una severidad alta con 7.40 m² de área.

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 3 valores deducidos: 28,17; 13,12; 3,22. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 30,17, dando como resultado un índice de 69 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M12

La unidad de muestra M12 tiene 236,80 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: grietas longitudinales y transversales. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: desprendimiento de agregados, fisuración en bloque. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el pulimiento de agregados ya que se encuentra con una severidad alta con 25,90 m² de área, también presenta una grieta en bloque de severidad alta de 5.00 m² de área. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 3 valores deducidos: 37,09; 14,34; 3,57. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 39, dando como resultado un índice de 61 que corresponde a un pavimento BUENO.

- Unidad de muestra M14

La unidad de muestra M14 tiene 230,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales, piel de cocodrilo. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: grietas longitudinales y transversales, agrietamiento en bloque. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron los

baches. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es el de huecos ya que se encuentra con una severidad media con 2,60 m² de área. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 3 valores deducidos: 18,17; 6,54; 3,39. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 20,17; dando como resultado un índice de 79 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

- Unidad de muestra M15

La unidad de muestra M15 tiene 234,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, hinchamiento. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: piel de cocodrilo. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: grieta de borde, grietas longitudinales y transversales, parche y acometidas de servicio, huecos, ahuellamiento. En este sector de muestra el pavimento comienza a tener un deterioro muy visible el cual afecta a la circulación vehicular, es un asfalto mezclado con baches de pavimento articulado, pero son antiguas las reparaciones, por lo cual las mismas están deterioradas. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 7 valores deducidos: 74,87; 31,21; 29,54; 17,95; 16,12; 14,04; 7,20. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 86,39; dando como resultado un índice de 13 que corresponde a un pavimento MUY MALO.

- Unidad de muestra M16

La unidad de muestra M16 tiene 234,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas son de nivel de severidad de medio a alto ya que es un tramo muy deteriorado con fallas como piel de cocodrilo, depresión, fisuras longitudinales y transversales, parches y baches. En este sector de muestra, el pavimento comienza a tener un deterioro muy visible el cual afecta a la circulación vehicular, es un asfalto mezclado con baches de pavimento articulado, pero son antiguas las reparaciones por lo cual las mismas están deterioradas.

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 7 valores deducidos: 33,46; 30,02; 29,12; 25,94; 20,60; 12,23. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 75.00, dando como resultado un índice de 25 que corresponde a un pavimento MUY MALO.

- Unidad de muestra M17

La unidad de muestra M17 tiene 234.00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: desniveles localizados, corrugación, depresión, grietas longitudinales y transversales, baches y acometidas de servicios públicos, huecos, grietas parabólicas, desprendimiento de agregados. En este sector de muestra el pavimento comienza a tener un deterioro muy visible el cual afecta a la circulación vehicular, es un asfalto mezclado con baches de pavimento articulado, pero son antiguas las reparaciones por lo cual las mismas están deterioradas. Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 7 valores deducidos: 71,45; 45,26; 39,37; 27,59; 27,45; 17,25; 11,03. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 95,00; dando como resultado un índice de 4 que corresponde a un pavimento FALLADO.

- Unidad de muestra M18

La unidad de muestra M18 tiene 234,00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: piel de cocodrilo, huecos. Las fallas encontradas con nivel de severidad medio fueron: grietas en bloque, abultamientos y hundimientos, depresión, grieta de borde. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: piel de cocodrilo, grietas longitudinales y transversales. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la de piel de cocodrilo con áreas afectadas de 0,50 y 1,15 m², presenta grietas de borde de 7,00 y 10,00 m de longitud, también grietas longitudinales y transversales de 0,75; 0,15; 0,30 m de longitud.

Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 5 valores deducidos: 27,47; 15,37; 13,40; 10,77. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 51,00; dando como resultado un índice de 49 que corresponde a un pavimento REGULAR.

- Unidad de muestra M19

La unidad de muestra M19 tiene 234.00 m² y pertenece al tramo intermedio Tarija – Santuario de Chaguaya, la sección cuenta con mayor parte de las fallas con severidad alta. No presenta cambios de sección dentro de su área, por lo que se le ha denominado sección 2 a dicha región de pavimento. Las fallas encontradas con nivel de severidad alto fueron: grieta de borde, parches grietas longitudinales y transversales, desprendimiento de agregados. La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la presencia de grietas de borde con 4.90 m². Como se aprecia en la tabla se obtuvieron 4 valores deducidos: 12,99; 4,61; 12,13; 14,53. Siguiendo el procedimiento del PCI, se obtiene como máximo valor deducido corregido 26,27; dando como resultado un índice de 73 que corresponde a un pavimento MUY BUENO.

2.3.2.2. Evaluación estructural

Se determinó la evaluación mediante el equipo de la Viga Benkelman, con el cual solo se pudo obtener datos del tramo Padcaya- Bermejo, ya que en el sector más céntrico del municipio el asfalto fue realizado encima de un asfalto existente de empedrado, por lo cual el equipo no dio respuesta de datos en esos sectores. (Zapata, 2017)

A continuación, se detallan los procedimientos para lograr las medidas de deflexiones de una manera correcta.

2.3.2.2.1. Equipo requerido

El equipo requerido para realizar las mediciones de deflexiones es el siguiente:

- Deflectómetro Viga Benkelman.
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm.
- Camión cargado, cuyo eje trasero tenga un peso 18000 libras y un par de llantas dobles con una presión de inflado de 75,00 a 85,00 psi.

- Vehículo auxiliar para transportar al personal y al equipo, se recomienda que sea una camioneta.
- Termómetro o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C.
- Accesorios de seguridad como: cascos, conos y señales de seguridad.
- Accesorios de medición como: cinta métrica de 3m, plumones de punta gruesa, tiralíneas, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, termómetro, cincel punta, martillo, varilla de metal o de madera de 2,00m y alambre de amarre.

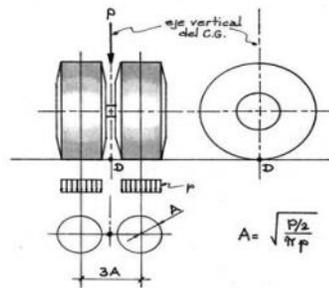
2.3.2.2.2. Procedimiento en el campo

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tienen que definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 50,00 o 100,00 m de distancia, alternando cada carril; estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento.

Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la Viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Ver figura 2.20.

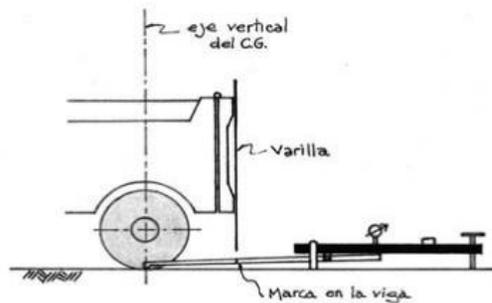
Debido a la dificultad tanto visual como operacional que demanda hacer coincidir el extremo de la Viga Benkelman con el eje de gravedad, se realizará el siguiente trabajo: El extremo de la Viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar, sólo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La Viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión. Ver figura 2.20.

Figura 2.20: Punto de ubicación del extremo de la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Figura 2.21: Configuración geométrica del sistema de carga en ensayos con la Viga Benkelman.



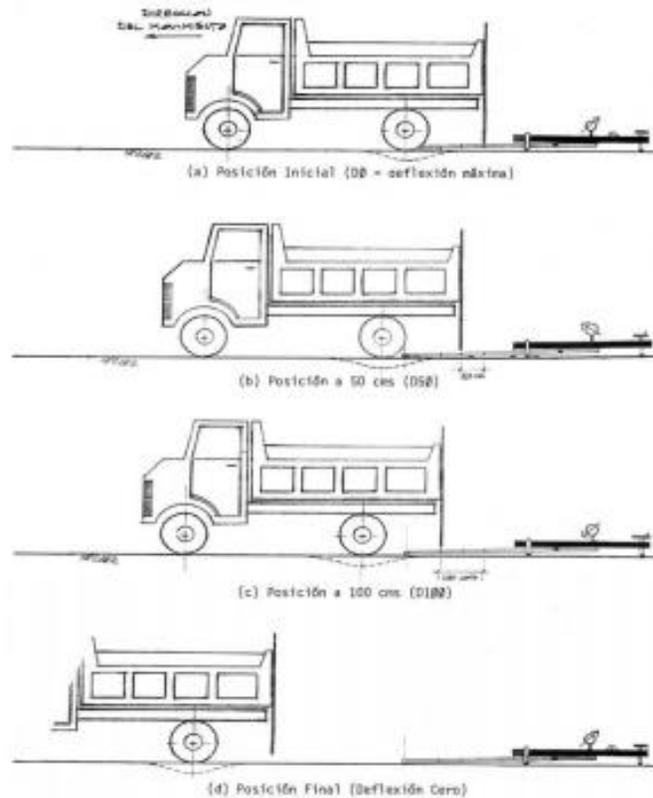
Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25,00; 30,00; 40,00 o 50,00 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0,00 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce. Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o

esté en un rango de 35% al 65% de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de la primera marca adicional. Ver figura 2.22.

Figura 2.22: Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman.



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexiones. (Hoffman y Del Águila, 1985).

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1.00 km/h) se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5,00 a 6,00 metros).

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el

conductor del camión y dé aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la Viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

2.3.2.2.3. Cálculo de deflexiones

Una vez tomadas las lecturas de campo es necesario obtener una lectura final en cada estación, para esto se restan las lecturas consecutivas acumulando las deflexiones desde la lectura final (0) a las diferentes distancias, de esta manera se obtienen las deflexiones a cada distancia; cabe indicar que las lecturas de campo miden la recuperación del pavimento, pero no las deflexiones.

Las deflexiones en pavimentos flexibles de espesor de asfalto mayor a 5 centímetros se ven afectadas por la temperatura, su magnitud aumenta al incrementarse la temperatura en la carpeta asfáltica. Esto erróneamente se puede atribuir a la disminución de la rigidez de las capas subyacentes, razón por lo cual es necesario corregir las deflexiones de campo llevando los valores de las deflexiones a una temperatura estándar.

Se determinan la deflexión mínima y la deflexión máxima, se calcula la desviación estándar y varianza, para obtener la deflexión característica.

Los Radios de Curvatura (R_c) determinan la magnitud de la deformación lineal (curvatura de la línea de deflexión), que permite inferir su comportamiento estructural. Los Radios de Curvatura son grandes cuando la mayor parte de la deflexión se produce en la subrasante. Los Radios de Curvatura son pequeños cuando la mayor parte de la deflexión se produce en las capas superiores (carpeta asfáltica). (Zapata, 2017)

Tabla 2.35: Datos de la lectura del dial carril derecho

| Proyecto de investigación | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------|
| Tramo: | Padcaya-Bermejo | | | | | | | | |
| Carril: | Derecho (ida) | | | | | | | | |
| Fecha: | | | | | | | | | |
| (N°) | (Km) | Lecturas del dial | | | | | | Temperaturas | |
| | | L- a 0cm | L- a 50cm | L- a 100cm | L- a 150cm | L- a 200cm | L-a 500cm | Amb | Asfalto |
| | | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | °C | °C |
| 1 | 00+000 | 0,00 | 12,00 | 14,00 | 22,00 | 14,00 | 18,00 | 26,00 | 23,00 |
| 2 | 00+100 | 0,00 | 16,00 | 15,00 | 19,00 | 17,00 | 21,00 | 26,00 | 23,00 |
| 3 | 00+200 | 0,00 | 14,00 | 10,00 | 8,00 | 18,00 | 22,00 | 26,00 | 23,00 |
| 4 | 00+300 | 0,00 | 18,00 | 12,00 | 14,00 | 18,00 | 32,00 | 26,00 | 23,00 |
| 5 | 00+400 | 0,00 | 26,00 | 10,00 | 18,00 | 28,00 | 48,00 | 26,00 | 23,00 |
| 6 | 00+500 | 0,00 | 22,00 | 18,00 | 14,00 | 12,00 | 38,00 | 26,00 | 23,00 |
| 7 | 00+600 | 0,00 | 18,00 | 26,00 | 20,00 | 10,00 | 34,00 | 26,00 | 23,00 |
| 8 | 00+700 | 0,00 | 8,00 | 22,00 | 10,00 | 14,00 | 30,00 | 26,00 | 23,00 |
| 9 | 00+800 | 0,00 | 12,00 | 26,00 | 14,00 | 6,00 | 23,00 | 26,00 | 23,00 |
| 10 | 00+900 | 0,00 | 10,00 | 26,00 | 18,00 | 12,00 | 26,00 | 26,00 | 23,00 |
| 11 | 01+000 | 0,00 | 6,00 | 12,00 | 8,00 | 9,00 | 26,00 | 26,00 | 23,00 |
| 12 | 01+100 | 0,00 | 8,00 | 14,00 | 13,00 | 17,00 | 25,00 | 26,00 | 23,00 |
| 13 | 01+200 | 0,00 | 16,00 | 26,00 | 20,00 | 10,00 | 33,00 | 26,00 | 23,00 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.36: Datos de la lectura del dial carril izquierdo

| Tramo: | Padcaya-Bermejo | | | | | | | | |
|---------|--------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|---------|
| Carril: | Izquierdo (vuelta) | | | | | | | | |
| Fecha: | | | | | | | | | |
| (N°) | Lecturas del dial | | | | | | | Temperatura | |
| | (Km) | L- a 0cm | L- a 50cm | L- a 100cm | L- a 150cm | L- a 200cm | L-a 500cm | Amb | Asfalto |
| | | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | 0,01 mm | °C | °C |
| 1 | 04+000 | 0,00 | 5,00 | 9,00 | 8,00 | 13,00 | 13,00 | 26,00 | 23,00 |
| 2 | 03+900 | 0,00 | 5,00 | 8,00 | 9,00 | 12,00 | 14,00 | 26,00 | 23,00 |
| 3 | 03+800 | 0,00 | 7,00 | 12,00 | 13,00 | 10,00 | 14,00 | 26,00 | 23,00 |
| 4 | 03+700 | 0,00 | 6,00 | 10,00 | 12,00 | 12,00 | 16,00 | 26,00 | 23,00 |
| 5 | 03+600 | 0,00 | 4,00 | 10,00 | 7,00 | 14,00 | 15,00 | 26,00 | 23,00 |
| 6 | 03+500 | 0,00 | 7,00 | 9,00 | 12,00 | 11,00 | 10,00 | 26,00 | 23,00 |
| 7 | 03+400 | 0,00 | 6,00 | 8,00 | 10,00 | 9,00 | 12,00 | 26,00 | 23,00 |
| 8 | 03+300 | 0,00 | 5,00 | 11,00 | 10,00 | 10,00 | 8,00 | 26,00 | 23,00 |
| 9 | 03+200 | 0,00 | 6,00 | 12,00 | 9,00 | 12,00 | 10,00 | 26,00 | 23,00 |
| 10 | 03+100 | 0,00 | 7,00 | 12,00 | 10,00 | 14,00 | 16,00 | 26,00 | 23,00 |
| 11 | 03+000 | 0,00 | 9,00 | 14,00 | 14,00 | 17,00 | 18,00 | 26,00 | 23,00 |
| 12 | 02+900 | 0,00 | 9,00 | 14,00 | 16,00 | 15,00 | 19,00 | 26,00 | 23,00 |
| 13 | 02+800 | 0,00 | 4,00 | 10,00 | 7,00 | 14,00 | 15,00 | 26,00 | 23,00 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3. Diseño Estructural

El diseño se empezó clasificando y calculando el CBR de cinco zonas diferentes dentro del centro de la localidad de Padcaya, se determinaron cinco zonas donde fue factible la obtención de muestras de la subrasante lo suficiente para realizar los ensayos, tanto como contenido de humedad, granulometría de suelos (ASTM D422, AASHTO T88), determinación de consistencia de los suelos límite líquido de los suelos (ASTM D4318, AASHTO T89), límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318, AASHTO T90), clasificación de los suelos según el método S.U.C.S. y AASHTO, ensayos de compactación (AASHTO T272) y determinar el CBR de la subrasante de las cinco zonas.

Por último, se determinaron los datos necesarios para recurrir al software AASHTO para diseño de espesores de asfalto flexible y rígido, como ser número de cargas de 18 kips previstas, confiabilidad, desvío estándar de las variables, pérdida de serviciabilidad, módulo resiliente de la subrasante.

2.3.2.3.1. Confiabilidad

La confiabilidad se define al nivel de probabilidad que tiene una estructura de pavimento diseñada para durar a través de un análisis.

La confiabilidad de diseño toma en cuenta las posibles variaciones de tráfico previstas, así como en las variaciones del modelo del comportamiento AASHTO, proporcionando un nivel de confiabilidad (R) que asegure que la sección del pavimento dure el periodo para el cual fueron diseñados. (Layme, 2014)

Tabla 2.37: Niveles de confiabilidad

| Clasificación funcional | Nivel de confiabilidad (R) | |
|-------------------------------|----------------------------|---------------|
| | Urbana | Rural |
| Interestatales y vías rápidas | 85,00 – 99,90 | 80,00 – 99,90 |
| Arterias principales | 80,00 – 99,00 | 75,00 – 95,00 |
| Colectoras | 80,00 – 95,00 | 75,00 – 95,00 |
| Locales | 50,00 – 80,00 | 50,00- 80,00 |

Fuente: Elaboración propia

La localidad de Padcaya se encuentra en un punto intermedio de la Ruta No. 1 Tarija Bermejo, la cual pertenece a una clasificación de interestatales y vías rápidas, pero el diseño se realizará para el sector dentro de la localidad para sus 6 barrios, lo que conlleva a una clasificación del camino de calles colectoras.

$$R = 75 \%$$

$$Z_r = - 0,67$$

Tabla 2.38: Desviación estándar según la confiabilidad

| Confiabilidad (R) (%) | Desviación estándar normal (Zr) |
|--------------------------|------------------------------------|
| 50 | 0,00 |
| 60 | 0,25 |
| 70 | 0,52 |
| 75 | 0,67 |
| 80 | 0,84 |
| 85 | 1,03 |
| 90 | 1,28 |
| 95 | 1,64 |
| 99 | 2,32 |
| 99,9 | 3,09 |
| 99,99 | 3,75 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3.2. Desviación estándar de las variables

Representa la desviación estándar conjunta que conjuga la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el periodo de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción de comportamiento del pavimento, es decir, del número de ejes que pueden soportar el pavimento hasta que su índice descienda por debajo de un determinado valor Pt.

Pavimentos flexibles: 0,40 – 0,50

- 0,45= Construcción nueva
- 0,50= Sobre capas

Por lo que será un diseño para una nueva construcción del pavimento se determina el dato de:

$$S_o = 0,45$$

2.3.2.3.3. Pérdida de serviciabilidad

Serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. Inicialmente se cuantificó la serviciabilidad de una carretera pidiendo la opinión de los conductores, estableciendo el índice de serviciabilidad P de acuerdo a la siguiente clasificación:

Po= 4,2 (4,2 es la máxima calificación lograda en la AASHTO Road Test para pavimento flexible)

Pt= índice más bajo que puede tolerarse antes de realizar una medida de rehabilitación, 2,5 para carreteras con un volumen de tráfico alto o 2,0 para carreteras con un volumen menor.

Por lo que se utilizaron valores de Po= 4,2 de Pt= 2,0.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 2,2$$

$$\Delta PSI = 4,2 - 2,0$$

2.3.2.3.4. Tránsito

Las proyecciones del tráfico vehicular se usan para el diseño y clasificación de las carreteras e influyen en la determinación de la velocidad de diseño y de los demás datos de un proyecto, además la predicción del tráfico vehicular sirve para indicar cuando una vía, avenida o calle debe mejorar su infraestructura vial existente, o para aumentar su capacidad. El pronóstico del volumen y la composición del tráfico se basa en el tráfico actual, los diseños viales y planeamientos de mejoras de las vías se basan en una predicción del tráfico a 15 años o 20 años.

En este trabajo el tráfico futuro de vehículos proyectados que transitarán por la zona se determinará para un periodo de 20 años. Es decir, se calculará el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) futuro proyectado para el año 2040. (Condareo, 2016)

Tabla 2.39: Factores de crecimiento de tránsito, para un determinado periodo de análisis.

| Periodo de analisis (anos) | Factor sin crecimiento | Tasa de crecimiento anual (g) en (%) | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | 2,00 | 2,02 | 2,04 | 2,05 | 2,06 | 2,07 | 2,08 | 2,10 |
| 3 | 3,00 | 3,06 | 3,12 | 3,15 | 3,18 | 3,21 | 3,25 | 3,31 |
| 4 | 4,00 | 4,12 | 4,25 | 4,31 | 4,37 | 4,44 | 4,51 | 4,64 |
| 5 | 5,00 | 5,20 | 5,42 | 5,53 | 5,64 | 5,75 | 5,87 | 6,11 |
| 6 | 6,00 | 6,31 | 6,63 | 6,80 | 6,98 | 7,15 | 7,34 | 7,72 |
| 7 | 7,00 | 7,43 | 7,90 | 8,14 | 8,39 | 8,65 | 8,92 | 9,49 |
| 8 | 8,00 | 8,58 | 9,21 | 9,55 | 9,90 | 10,26 | 10,64 | 11,44 |
| 9 | 9,00 | 9,75 | 10,58 | 11,03 | 11,49 | 11,98 | 12,49 | 13,58 |
| 10 | 10,00 | 10,95 | 12,01 | 12,58 | 13,18 | 13,82 | 14,49 | 15,94 |
| 11 | 11,00 | 12,17 | 13,49 | 14,21 | 14,97 | 15,78 | 16,65 | 18,53 |
| 12 | 12,00 | 13,41 | 15,03 | 15,92 | 16,87 | 17,89 | 18,98 | 21,38 |
| 13 | 13,00 | 14,68 | 16,63 | 17,71 | 18,88 | 20,14 | 21,50 | 24,52 |
| 14 | 14,00 | 15,97 | 18,29 | 19,16 | 21,01 | 22,55 | 24,21 | 27,97 |
| 15 | 15,00 | 17,29 | 20,02 | 21,58 | 23,28 | 25,13 | 27,15 | 31,77 |
| 16 | 16,00 | 18,64 | 21,82 | 23,66 | 25,67 | 27,89 | 30,32 | 35,95 |
| 17 | 17,00 | 20,01 | 23,70 | 25,84 | 28,21 | 30,84 | 33,75 | 40,55 |
| 18 | 18,00 | 21,41 | 25,65 | 28,13 | 30,91 | 34,00 | 37,45 | 45,60 |
| 19 | 19,00 | 22,84 | 27,67 | 30,54 | 33,76 | 37,38 | 41,45 | 51,16 |
| 20 | 20,00 | 24,30 | 29,78 | 33,06 | 36,79 | 41,00 | 45,76 | 57,28 |
| 25 | 25,00 | 32,03 | 41,65 | 47,73 | 54,86 | 63,25 | 73,11 | 98,35 |
| 30 | 30,00 | 40,57 | 56,08 | 66,44 | 79,06 | 94,46 | 113,28 | 164,49 |
| 35 | 35,00 | 49,99 | 73,65 | 90,32 | 111,43 | 138,24 | 172,32 | 271,02 |

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1993.

2.3.2.3.5. Factor de Carga Equivalente (FCE)

Un requisito para el método de diseño es el de convertir el tráfico en un número de ejes simples de carga equivalentes a 18000 libras (=8,2 Ton) que debe soportar el pavimento durante el periodo de diseño (20 años en este estudio). Con este objeto es necesario determinar el factor de carga en función de la clasificación de vehículos pesados por ejes simples o ejes tándem, buses, camiones, camiones 3 ejes. Esta determinación se realiza únicamente con los vehículos pesados, no se toman en cuenta los vehículos livianos.

Con la utilización de la siguiente tabla, se procede a determinar el factor de carga de ejes equivalentes mediante el siguiente procedimiento:

Se asume un (NE) número estructural del pavimento en el eje de las abscisas, se intercepta a un vehículo tipo con el índice de servicio (Pt), se proyecta esta intersección a la ordenada y se lee el valor indicado que corresponde al factor de carga como se indica en la tabla. Índice de servicio (Pt) este es un número que varía generalmente de 0 a 5 y es obtenido mediante fórmulas o tablas y determinan las condiciones del pavimento en base a determinadas características físicas tales como huellas o surcos producidos por el tráfico, rugosidades de la superficie, fisuras etc. Con el objeto de simplificar este índice se ha establecido para el diseño de pavimentos en el Ecuador para vías principales un valor igual a $Pt=2,5$ y para vías secundarias un valor igual a $Pt=2$. Número estructural asumido $NE=2$ Índice de servicio considerado $Pt=2,0$ (Condareo, 2016)

Tabla 2.40: Tabla de factores equivalente de carga, factores de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $Pt=2,0$

| Carga p/eje (kips) | Numero estructural SN | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| 4 | 0,0020 | 0,0030 | 0,0020 | 0,0020 | 0,0020 | 0,0020 |
| 6 | 0,009 | 0,003 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,009 |
| 8 | 0,03 | 0,035 | 0,036 | 0,033 | 0,031 | 0,029 |
| 10 | 0,08 | 0,085 | 0,090 | 0,085 | 0,079 | 0,076 |
| 12 | 0,17 | 0,177 | 0,189 | 0,183 | 0,174 | 0,168 |
| 14 | 0,33 | 0,338 | 0,354 | 0,350 | 0,338 | 0,333 |
| 16 | 0,59 | 0,598 | 0,613 | 0,612 | 0,603 | 0,596 |
| 18 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 20 | 1,61 | 1,59 | 1,56 | 1,55 | 1,57 | 1,59 |
| 22 | 2,49 | 2,44 | 2,35 | 2,31 | 2,35 | 2,41 |
| 24 | 3,71 | 3,62 | 3,43 | 3,33 | 3,40 | 3,51 |
| 26 | 5,36 | 5,21 | 4,88 | 4,68 | 4,77 | 4,96 |
| 28 | 7,54 | 7,31 | 6,78 | 6,42 | 6,52 | 6,83 |
| 30 | 10,40 | 10,00 | 9,20 | 8,60 | 8,70 | 9,20 |
| 32 | 14,00 | 13,50 | 12,40 | 11,50 | 11,50 | 12,10 |
| 34 | 18,50 | 17,90 | 16,30 | 15,00 | 14,90 | 15,60 |
| 36 | 24,20 | 23,30 | 21,20 | 19,30 | 19,00 | 19,90 |
| 38 | 31,10 | 29,90 | 27,10 | 24,60 | 24,00 | 25,10 |
| 40 | 39,60 | 38,00 | 34,30 | 30,90 | 30,00 | 31,20 |
| 42 | 49,70 | 47,70 | 43,00 | 38,60 | 37,20 | 38,50 |
| 44 | 61,80 | 59,30 | 53,40 | 47,60 | 45,70 | 47,10 |
| 46 | 76,10 | 73,00 | 65,60 | 58,30 | 55,70 | 57,00 |
| 48 | 92,90 | 89,10 | 80,00 | 70,90 | 67,30 | 68,60 |
| 50 | 113,00 | 108,00 | 97,00 | 86,00 | 81,00 | 82,00 |

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1993.

2.3.2.3.6. Cálculo de ESALs para el tramo

Con los datos obtenidos de las tablas y el TPDA actual:

Tabla 2.41: Tráfico promedio diario anual actual

| Tipo de vehículo | Cantidad de vehículos diarios | Factor de crecimiento | Tránsito de diseño | ESALs factor | ESALs de diseño |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|-----------------|
| Vehículos sencillos | | | | | |
| | | 4 | | | |
| Auto | 919 | 29,78 | 9987442,7 | 0,0002 | 1997,489 |
| Minivan | 101 | 29,78 | 1099651,32 | 0,0002 | 219,930 |
| Camioneta | 138 | 29,78 | 1498206,98 | 0,0002 | 299,641 |
| Vehículos medianos | | | | | |
| | | 4 | | | |
| Micro | 3 | 29,78 | 28985,87 | 1,1005 | 31898,946 |
| Bus | 1 | 29,78 | 14492,93 | 1,1005 | 15949,473 |
| Camiones ejes simple | | | | | |
| | | 2 | | | |
| C-2p | 15 | 24,3 | 134520,75 | 1,1005 | 148040,085 |
| C-2g | 8 | 24,3 | 67999,50 | 1,9720 | 134095,014 |
| C-3 | 2 | 24,3 | 17739,00 | 1,9720 | 34981,308 |
| Total de vehículos | 1187 | | Esal s | | 317116,407 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3.7. Factor de distribución por dirección

Es el factor del total del flujo vehicular censado, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección que, en la otra, lo cual puede deducirse del conteo de tránsito efectuado.

Tabla 2.42: Factor de distribución por dirección

| Número de carriles en ambas direcciones | LD10 |
|---|------|
| 2 | 50 |
| 4 | 45 |
| 6 o mas | 40 |

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993.

2.3.2.3.8. Factor de distribución por carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

Tabla 2.43: Factor de distribución por carril.

| Número de carriles en una sola dirección | LC11 |
|--|-----------|
| 1 | 1,00 |
| 2 | 0,80-1,00 |
| 3 | 0,60-0,80 |
| 4 | 0,50-0,75 |

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 1993.

$$\text{ESALs} = \text{ESALs diseño} \times \text{Factor de dirección} \times \text{Factor de carril}$$

Tabla 2.44: Resultado de ESALs

| | |
|------------------------------|-------------|
| Factor de dirección | 0,5 |
| Factor de carril | 0,9 |
| ESALs por carril de tránsito | 142702,3833 |

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3.9. Rediseño del pavimento

Después de obtener cada uno de los datos se deriva a realizar el diseño según el software, se determinan módulos de elasticidad para cada base con los parámetros expuestos en el programa para tener los valores de los coeficientes a_i (coeficientes de capa), los valores de coeficiente m_i (coeficientes de drenaje) el cual es usado 1 que significa un buen drenaje.

Tabla 2.45: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles

| Calidad de drenaje | % de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación | | | |
|--------------------|---|-----------|-----------|-----|
| | 1% | 1-5% | 5-25% | 25% |
| Excelente | 1,40-1,35 | 1,35-1,30 | 1,30-1,20 | 1,2 |
| Bueno | 1,35-1,25 | 1,25-1,15 | 1,15-1,00 | 1 |
| Regular | 1,25-1,15 | 1,15-1,05 | 1,00-0,80 | 0,8 |
| Pobre | 1,15-1,05 | 1,05-0,80 | 0,80-0,60 | 0,6 |
| Muy pobre | 1,05-0,95 | 0,95-0,75 | 0,75-0,40 | 0,4 |

Fuente: Cordo Oscar, 2006

El software determina diferentes SN para cada capa, con su espesor en pulgadas el cual es redondeado a valores de diseño.

- Zona 1

Figura 2.23: Diseño del paquete estructural de la zona 1

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 75 % Zr = - 0.674
 So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2
 PSI final: 2

Tránsito de diseño: W18: 142702.383

Pavimento flexible

| Capa | Módulo de elasticidad (psi) | Coefficiente de capa (ai) | Coefficiente de drenaje (mi) | SN necesario | Espesor D (plg.) | Espesor D* (plg) | SN* dispuesto |
|------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------|------------------|------------------|---------------|
| 1 | 435000 | ¿E/a? | 0.440 | 1.00 | ¿m? | 1.28 | 2.91 |
| 2 | 30000 | ¿E/a? | 0.139 | 1.00 | ¿m? | 1.72 | 2.88 |
| 3 | 15000 | ¿E/a? | 0.107 | 1.00 | ¿m? | 2.26 | 3.59 |
| 4 | 7305 | MR | | | | | 4.0 |

W18 real: 2.88E+005

Cálculo de W18 para un SN: SN: W18:

Quitar el control de variables

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.24: Formato del resumen de resultados zona 1

Formato de respuestas

GUÍA AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (1993)
 Por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, Colombia. 2005.

PAVIMENTO FLEXIBLE

Confiabilidad : 75 % Zr = - 0.674
 Desviación estándar (So) : 0.45
 PSI inicial : 4.20
 PSI final : 2.00
 Tránsito de diseño (W18) : 1.427E+005
 Módulo resiliente de la subrasante (Mr)-psi- : 7.305E+003

| Capa | Módulo (psi) | a () | m () |
|------|--------------|-------|-------|
| 1 | 4.350e+005 | 0.44 | 1.00 |
| 2 | 3.000e+004 | 0.14 | 1.00 |
| 3 | 1.500e+004 | 0.11 | 1.00 |

SN necesario: 2.26. SN dispuesto: 2.52

| SN | D (plg) | D redon (plg) | D* (plg) | SN* |
|------|----------|---------------|----------|------|
| 1.00 | 2.00E+00 | 3.00E+00 | 3.00E+00 | 1.00 |
| 1.00 | 2.00E+00 | 3.00E+00 | 4.00E+00 | 0.00 |
| 2.00 | 3.00E+00 | 4.00E+00 | 6.00E+00 | 0.00 |

Tránsito real para la estructura dispuesta : 2.878E+005

Fuente: Elaboración propia

- Zona 2

Figura 2.25: Diseño del paquete estructural de la zona 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.26: Formato del resumen de resultados zona 2

Fuente: Elaboración propia

- Zona 3

Figura 2.27: Diseño del paquete estructural de la zona 3

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 75 % Zr = - 0.674 (Ayuda) So = 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.2 (Ayuda) PSI final = 2

Tránsito de diseño: W18 = 142702.383

Pavimento flexible

| Capa | Módulo de elasticidad (psi) | Coeficiente de capa (ai) | Coeficiente de drenaje (mi) | SN necesario | Espesor D (plg.) | Espesor D* (plg.) | SN* dispuesto |
|------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 435000 | ¿E/a? | 0.440 | 1.00 | ¿m? | 1.28 | 2.91 3.0 3.0 1.32 |
| 2 | 30000 | ¿E/a? | 0.139 | 1.00 | ¿m? | 1.72 | 2.88 3.0 4.0 0.56 |
| 3 | 15000 | ¿E/a? | 0.107 | 1.00 | ¿m? | 2.42 | 5.08 5.5 6.0 0.64 |
| 4 | 6075 | MR | | | | | 2.52 OK 1.88E+005 |

W18 real: 1.88E+005

Cálculo de W18 para un SN: SN [] W18 []

Quitar el control de variables

Salir

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.28: Formato del resumen de resultados zona 3

Formato de respuestas

Copiar en el portapapeles Cancelar

GUÍA AASHTO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS (1993)
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, Colombia. 2005.

PAVIMENTO FLEXIBLE

Confiabilidad : 75 % Zr = - 0.674
Desviación estándar (So) : 0,45
PSI inicial : 4,20
PSI final : 2,00
Tránsito de diseño (W18) : 1,427E+005
Módulo resiliente de la subrasante (Mr)-psi- : 6,075E+003

| Capa | Módulo (psi) | a() | m() |
|------|--------------|------|------|
| 1 | 4,350e+005 | 0,44 | 1,00 |
| 2 | 3,000e+004 | 0,14 | 1,00 |
| 3 | 1,500e+004 | 0,11 | 1,00 |

SN necesario: 2,42. SN dispuesto: 2,52

| SN | D (plg) | D redon(plg) | D* (plg) | SN* |
|------|----------|--------------|----------|------|
| 1,00 | 2,00E+00 | 3,00E+00 | 3,00E+00 | 1,00 |
| 1,00 | 2,00E+00 | 3,00E+00 | 4,00E+00 | 0,00 |
| 2,00 | 5,00E+00 | 5,00E+00 | 6,00E+00 | 0,00 |

Tránsito real para la estructura dispuesta : 1,877E+005

Fuente: Elaboración propia

- Zona 4

Figura 2.29: Diseño del paquete estructural de la zona 4

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.30: Formato del resumen de resultados zona 4

Fuente: Elaboración propia

- Zona 5

Figura 2.31: Diseño del paquete estructural de la zona 5

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.32: Formato del resumen de resultados zona 5

Fuente: Elaboración propia

- Zona 6

Figura 2.33: Diseño del paquete estructural de la zona 6

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.34: Formato del resumen de resultados zona 6

Fuente: Elaboración propia

- Zona 7

Figura 2.35: Diseño del paquete estructural de la zona 7

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.36: Formato del resumen de resultados zona 7

Fuente: Elaboración propia

- Zona 8

Figura 2.37: Diseño del paquete estructural de la zona 8

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.38: Formato del resumen de resultados zona 8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.46: Resultados diseño de carpeta estructural obtenidos en el programa.

| Zona | Capa base (plg) | Capa subbase (plg) | Capa de rodadura (plg) |
|--------|-----------------|--------------------|------------------------|
| Zona 1 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 2 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 3 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 4 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 5 | 6,00 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 6 | 0 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 7 | 0 | 4,00 | 3,00 |
| Zona 8 | 0 | 4,00 | 3,00 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el programa, fueron de la capa base de 6 plg, la capa sub base 4 plg y la capa de rodadura 3 plg. De acuerdo a los datos se asumen espesores constructivos tales como capa base 35 cm, capa sub base 15 cm y por último la capa de rodadura de 8 cm.

2.3.3. Diseño de drenaje

2.3.3.1. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño constituyen los elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de recolección y evacuación de aguas pluviales. A continuación, se establecen las condiciones para su definición y estimación:

2.3.3.1.1. Período de diseño

Es el tiempo en años en que se estima que la obra a construir funcionará eficientemente.

2.3.3.1.2. Áreas de aporte

El trazado de la red de drenaje de aguas pluviales debe seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área de estudio debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración.

Las áreas de aporte de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

2.3.3.1.3. Caudal de diseño

Para la estimación del caudal de diseño debe utilizarse el método racional, el cual calcula el caudal pico de aguas pluviales con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escurrimiento. (Ministerio de Agua, 2007)

2.3.3.1.4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base hidrológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. Se debe verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben analizarse para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información histórica de las lluvias.

La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos.

2.3.3.1.5. Ecuaciones intensidad-duración-frecuencia

En las precipitaciones, la intensidad de lluvia en general no permanece constante durante un período considerable de tiempo, sino que es variable.

El tiempo de duración de las precipitaciones debe ser aquel que transcurra desde el inicio de la lluvia hasta que toda el área esté contribuyendo.

La frecuencia de las precipitaciones es el tiempo en años en que una lluvia de cierta intensidad y duración se repite con las mismas características.

2.3.3.1.6. Frecuencia de lluvias - Periodo de retorno de diseño

El período de retorno de diseño es un factor importante para la determinación de la capacidad de redes de alcantarillado pluvial y la prevención de inundaciones en vías, áreas urbanas y plazas, por los riesgos y daños a la propiedad, daños personales y al tráfico vehicular. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado.

- **Frecuencias de 1 año a 2 años**

Se utilizan para redes de áreas urbanas y suburbanas.

- **Frecuencias de 2 años a 5 años**

Se utilizan para redes de áreas urbanas residenciales y comerciales.

- **Frecuencias de 10 años**

Para colectores de segundo orden como canalización de riachuelos.

- **Frecuencias de 20 años a 50 años**

Se adoptan para el diseño de obras especiales como emisarios (canalizaciones de primer orden).

- **Frecuencias de 100 años**

Se utilizan para ríos principales que constituyen el sistema de drenaje global de la cuenca.

2.3.3.1.7. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal de diseño de aguas pluviales corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño definido con base en lo establecido y una duración equivalente al tiempo de concentración del escurrimiento.

Los valores de intensidad dados por las curvas IDF corresponden a valores puntuales representativos de áreas relativamente pequeñas. En la medida en que las áreas de drenaje

consideradas se hacen más grandes, la intensidad media de la lluvia sobre éstas se reduce en razón de la variabilidad espacial del fenómeno de precipitación. En consecuencia, se deben considerar factores de reducción de la intensidad media de la precipitación en la medida en que el área de drenaje se incremente.

2.3.3.1.8. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento (C), es función del tipo de superficie, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escurrimiento. Para su determinación se deben considerar las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores. El valor del coeficiente (C) debe ser estimado tanto para la situación inicial como la futura, al final del periodo de diseño.

Para áreas de drenaje que incluyan sub áreas con coeficientes de escurrimiento diferentes, el valor de (C) representativo del área debe calcularse como el promedio ponderado con las respectivas áreas.

$$C_p = \frac{\sum C_i * A_i}{\sum A}$$

Dónde:

C_i= Coeficiente de escurrimiento superficial de cada sector, adimensional

A_i= Área de cada sector, en ha

A= Área total de la cuenca de drenaje, en ha

2.3.3.1.9. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido o de flujo en el colector. El tiempo de concentración está dado por la siguiente expresión: (Ministerio de Agua, 2007)

$$T_c = T_e + T_r$$

Dónde:

Tc= Tiempo de concentración, en min

Te= Tiempo de entrada, en min

Tt= Tiempo de recorrido o de flujo, en min

El tiempo de entrada corresponde al tiempo requerido para que el escurrimiento llegue al sumidero del colector, mientras que el tiempo de recorrido se asocia con el tiempo de viaje o tránsito del agua dentro del colector.

2.3.3.1.10. Diseño de la red

- Obtención del coeficiente de escorrentía ponderado:

Tabla 2.47: Proporciones de áreas

| | | | | | |
|--|-----------|----------------|---|-----------|------|
| 1.-Datos: | | | | | |
| pavimentos rigido rigido en calzadas | | 100% | → | C= | 0,5 |
| cubiertas de calamina | | 60% | → | C= | 0,8 |
| patios de tierra | | 40% | → | C= | 0,15 |
| Se adopta un manzano tipo: | | | | | |
| 2.-Areas. | | | | | |
| area total de manzano tipo | 5736,54 | m ² | | 0,573654 | ha |
| area de cubiertas= | 3097,7316 | m ² | | 0,3097732 | ha |
| area de patios= | 2065,1544 | m ² | | 0,2065154 | ha |
| area pavimento= | 573,654 | m ² | | 0,0573654 | ha |
| 3.- Coeficiente de escorrentia ponderado | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | Cp= | 0,54 | | | |

Fuente: Elaboración propia

- Tiempo de concentración

| | | |
|------------------------|-------|----|
| area total del sector= | 167,7 | ha |
| area manzanos= | 129,5 | ha |
| area calzadas= | 38,3 | ha |

Proporciones de areas:

| Manzanos | | |
|--------------------|----|---|
| cubiertas= | 60 | % |
| patios de cemento= | 20 | % |
| jardines= | 20 | % |

| Calzadas | | |
|------------|----|---|
| pavimento= | 70 | % |
| empedrado= | 30 | % |

| Coeficientes de escorrentia | |
|-----------------------------|------|
| cubiertas= | 0,7 |
| patios de cemento= | 0,45 |
| jardines= | 0,25 |
| pavimento= | 0,5 |
| empedrado= | 0,4 |

Areas correspondientes:

| | | |
|---------------------------|-------|----|
| area de cubiertas= | 77,69 | ha |
| area de patios de cemento | 25,90 | ha |
| area de jardines= | 25,90 | ha |
| area de pavimento= | 26,78 | ha |
| area de empedrado= | 11,48 | ha |

Coeficiente de escorrentia ponderado

$$C_p = \frac{\sum A_c * c_i}{\sum A}$$

$$C_p = 0,539$$

$$T_c = T_e + T_r$$

Dónde:

T_e = Tiempo de entrada

T_r = Tiempo de recorrido

- Tiempo de entrada

Se usó la ecuación propuesta por la FAA

$$T_e = \frac{0,707(1,1 * c) * L^{1/2}}{S^{1/3}}$$

Dónde:

C = Coeficiente de escurrimiento

L = longitud del tramo

S = Pendiente

- Tiempo de recorrido

$$tr = \frac{e}{V}$$

Dónde:

e = Espacio que recorre

V = Velocidad

- Caudal

$$Q = c * i * A * 2.87$$

- Intensidad

Se usó la ecuación propia obtenida con el modelo Bernard

$$I = \frac{883,32553 * T^{0,16007181}}{D^{0,800}}$$

- Diámetro

Se lo calcula por continuidad

$$Q = V * A$$

$$D = \left[\frac{Q * n}{0.31169 * I^{1/2}} \right]^{0.375}$$

- Velocidad

Se la obtiene con la fórmula de Maning:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * I^{1/2}$$

- Fuerza tractiva

$$T = \rho * g * Rh * S$$

Los resultados se explican detalladamente en los anexos.

2.3.4. Señalización vial vertical y horizontal

La señalización vial es de vital importancia, ya que constituye un eje fundamental para salvaguardar la vida de los conductores y peatones, debido a que estos son los únicos elementos existentes de control de tránsito dentro de una vía, es por ello que se debe ofrecer una respuesta a las necesidades que se presentan en la realidad, por lo que es necesario la señalización, en base a la Norma, para mejorar el comportamiento en la utilización de la vía pública de todos los sectores. (ABC, Manual de Dispositivos de Control de Tránsito (volumen III))

Para el diseño se realizó un estudio de la zona para verificar la cantidad y calidad de las señalizaciones viales presentes, en el cual se puede evidenciar que hay señales mal colocadas y señales en un estado deteriorado, por lo mencionado hay señales que deben ser nuevamente colocadas en las vías.

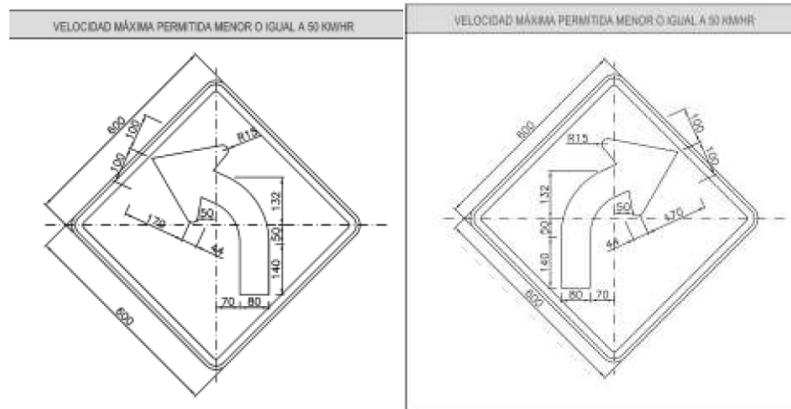
Inicialmente, para la señalización vertical se utilizarán alguna de las siguientes señales, las cuales se presentarán a mayor detalle en los anexos:

- Curva pronunciada derecha, curva pronunciada izquierda:

Estas señales se deben instalar para advertir la proximidad de una curva cuya velocidad de diseño es menor que la velocidad máxima o de operación del resto de la vía. También

se deben usar cuando la velocidad de diseño es igual a la velocidad máxima o de operación de la vía, pero existen limitaciones de visibilidad u otras complicaciones operacionales. Estas señales se deben usar solo en curvas cuya velocidad de diseño sea igual o superior a 50 km/hr.

Figura 2.39: Curva pronunciada izquierda, derecha.



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito (ABC)

○ Resalto:

Esta señal se emplea para advertir la proximidad de un resalto o de un reductor de velocidad en la superficie de la calzada. Este último se refiere solo a los reductores de velocidad ubicados, construidos y demarcados de acuerdo a lo establecido anteriormente.

Figura 2.40: Resalto o reductor de velocidad.



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito (ABC)

- Bifurcación izquierda:

Se emplearán en la ruta principal para advertir al conductor la proximidad a un empalme o desvío oblicuo por el lado izquierdo o derecho, de la calzada, en la que hay tránsito en lo dos sentidos.

- Puente angosto:

Se empleará para advertir al conductor la proximidad a un puente, alcantarilla u obra de similares características, cuyo ancho es inferior al ancho de corona de la vía. Deberá complementarse con la señal reglamentaria, que indica el ancho máximo permitido, cuando éste sea inferior a tres cuartos del ancho de la calzada.

Figura 2.41: Puente angosto.



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito (ABC)

Tabla 2.48: Propuesta de señalización vertical.

| Nombre de la señalización | Cantidad |
|---------------------------------------|----------|
| Límite de velocidad 20 km | 3 |
| Resalto o reductor de velocidad | 12 |
| Curva pronunciada derecha - izquierda | 2 |
| Puente angosto | 8 |
| Preventivo zona urbana | 1 |
| Parada de taxis a las comunidades | 2 |

Fuente: Elaboración propia

En este sector se requiere de las siguientes señales:

- Señales restrictivas de velocidad serán 3.
- Señales preventivas: 2 señales de curva pronunciada derecho - izquierda, reductores de velocidad 12, puente angosto 8 en la vía, dando un total de 22 señales necesarias respectivamente.
- Señales informativas: zona urbana 1, parada de taxis 2; presentando tres señales de este tipo.

Para la señalización horizontal se utilizarán las siguientes:

Tabla 2.49: Explicación de las señalizaciones utilizadas

| Nombre de la señalización | Cantidad |
|--|----------|
| Líneas longitudinales separación de carriles | ----- |
| Línea cruce de cebra | 2 |
| Reductor de velocidad | 7 |
| Línea borde de pavimento | ----- |
| Parada de taxis a las comunidades | 2 |
| Líneas transversal | 2 |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

- En el estudio geotécnico se presentaron los siguientes datos mediante los estudios de las muestras de subrasante. Esta información es de utilidad para comprender las características del suelo y su influencia en el diseño del pavimento.

Tabla 3.50: Caracterización de las muestras

| Zona | Clasificación | Compactación | CBR |
|--------|---|--|-----------------------------|
| Zona 1 | SM / A-2-6 (0) limo orgánico o arena muy fina | D máx. =2,02 gr/cm ³ H op.= 10,26 % | 100% = 4,87% 95%= 4,71% |
| Zona 2 | SC / A-2-4 (0) arena o suelo arenoso con presencia de arcilla | D max. =1,99 gr/cm ³ H op.= 9,83 % | 100% = 4,94% 95% = 4,74% |
| Zona 3 | SM / A-2-4 (0) arena o suelo arenoso con poca presencia de limo | D máx. =2,05 gr/cm ³ H op.= 8,95 % | 100% = 4,66% 95% = 4,56% |
| Zona 4 | SM-SC / A-2-4 (0) suelo con presencia de arena y limo, de baja a nula plasticidad. | D máx. =2,00 gr/cm ³ H op.= 9,87 % | 100% = 4,73% 95% = 4,44% |
| Zona 5 | SM-SC / A-2-4 (0) suelo arenoso con poca presencia de | D máx. =2,04 gr/cm ³ H op.= 9,24 % | 100% = 4,05% 95% = 3,72% |

| | | | |
|--------|---|--|---------------------------------|
| | arena y limo, de baja a nula plasticidad. | | |
| Zona 6 | SW-SM / A-1-a (0) arena bien graduada con limo y grava. | D máx. =1,88 gr/cm3 H op.= 7,94 % | 100% = 17,79% 95%= 16,39% |
| Zona 7 | SW-SM / A-1-a (0) arena bien graduada con limo y grava. | D máx. =1,89 gr/cm3 H op.= 7,19 % | 100% = 19,66% 95%= 18,4% |
| Zona 8 | SW-SM / A-1-a (0) arena bien graduada con limo y grava. | D máx. = 1,89 gr/cm3 H op.= 7,42 % | 100% = 16,9% 95%= 15,7.% |

Fuente: Elaboración propia

- Para la determinación del estado actual de las callas de la localidad de Padcaya, se realizó una evaluación superficial, mediante el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI), con la presencia de dos tramos, de los cuales uno presenta poco deterioro con un PCI de regular a excelente con las fallas más presentes como ser parches, fisuras de borde y fisuras longitudinal y/o transversal con diferentes áreas según la muestra, pero no con grandes porcentajes los cuales no afectan la circulación vehicular en la zona. El otro tramo se encuentra más deteriorado, y se lo dividió en dos secciones, la primera tiene valores de PCI de malo a excelente, con las fallas más presentes de fisuras longitudinales y/o transversales y parches, con áreas que no afectan en un gran porcentaje de acuerdo al área total de las muestras. La segunda sección se encuentra demasiado deteriorada con fallas como parches, baches, fisuras longitudinales y/o transversales y muchas más fallas que

sí afectan en un gran porcentaje del área total de las muestras con severidad de baja a alta, por lo cual en ese sector es complicada la circulación vehicular.

Tabla 3.51: Resultados tramo 1

| Tramo | Sección | Nº de muestra | Valor índice de condición PCI | Condición PCI |
|-------|---------|---------------|-------------------------------|---------------|
| T1 | S1 | 22 | 99 | Excelente |
| T1 | S1 | 23 | 50 | Regular |
| T1 | S1 | 29 | 99 | Excelente |
| T1 | S1 | 30 | 99 | Excelente |
| T1 | S1 | 31 | 99 | Excelente |
| T1 | S1 | 32 | 66 | Bueno |
| T1 | S1 | 33 | 88 | Excelente |
| T1 | S1 | 34 | 81 | Muy bueno |
| T1 | S1 | 35 | 65 | Bueno |
| T1 | S1 | 36 | 43 | Regular |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52: Resultados tramo 2 sección 1

| Tramo | Sección | Nº de muestra | Valor índice de condición PCI | Condición PCI |
|-------|---------|---------------|-------------------------------|---------------|
| T2 | S1 | 1 | 98 | Excelente |
| T2 | S1 | 2 | 81 | Muy bueno |
| T2 | S1 | 3 | 77 | Muy bueno |
| T2 | S1 | 4 | 99 | Excelente |
| T2 | S1 | 5 | 82 | Muy bueno |
| T2 | S1 | 6 | 86 | Excelente |
| T2 | S1 | 7 | 58 | Bueno |
| T2 | S1 | 13 | 86 | Excelente |
| T2 | S1 | 20 | 99 | Excelente |
| T2 | S1 | 21 | 82 | Muy bueno |
| T2 | S1 | 24 | 45 | Regular |
| T2 | S1 | 25 | 33 | Malo |
| T2 | S1 | 26 | 99 | Excelente |
| T2 | S1 | 27 | 41 | Regular |
| T2 | S1 | 28 | 79 | Muy bueno |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.53: Resultados tramo 2 sección 2

| Tramo | Sección | Nº de muestra | Valor índice de condición PCI | Condición PCI |
|-------|---------|---------------|-------------------------------|---------------|
| T2 | S2 | 8 | 17 | Muy malo |
| T2 | S2 | 9 | 74 | Muy bueno |
| T2 | S2 | 10 | 32 | Malo |
| T2 | S2 | 11 | 70 | Bueno |
| T2 | S2 | 12 | 61 | Bueno |
| T2 | S2 | 14 | 80 | Muy bueno |
| T2 | S2 | 15 | 14 | Muy malo |
| T2 | S2 | 16 | 25 | Muy malo |
| T2 | S2 | 17 | 5 | Fallado |
| T2 | S2 | 18 | 49 | Regular |
| T2 | S2 | 19 | 74 | Muy bueno |

Fuente: Elaboración propia

- Las fallas más comunes encontradas en el estudio fueron las grietas longitudinales y transversales, así como los parches y zanjas reparadas. Estas fallas se presentaron en diferentes grados de severidad en todas las muestras evaluadas. La presencia de estas fallas, especialmente los parches y zanjas reparadas, pueden afectar negativamente la calidad y durabilidad del pavimento.
- Posteriormente se realizó una evaluación estructural mediante el ensayo de la Viga Benkelman que permitió obtener resultados óptimos en el tramo Padcaya-Bermejo, donde se determinaron deflexiones características de 41.46×10^{-2} mm en el lado derecho y 25.64×10^{-2} mm en el carril izquierdo. Sin embargo, en el tramo Padcaya-Chaguaya, donde se construyó el asfalto sobre un pavimento antiguo de empedrado, no se obtuvieron datos debido a las condiciones particulares de ese tramo.
- En el proceso de diseño estructural del pavimento, se realizaron estudios de ocho muestras de subrasante provenientes de diferentes zonas de la localidad de Padcaya. Estos estudios permitieron obtener información importante sobre las propiedades del suelo, su capacidad de soporte y otros parámetros relevantes para el diseño del paquete estructural del pavimento.

- Según los resultados de las subrasantes se realizó el diseño de la carpeta estructural.
- Se obtuvieron datos de módulo resiliente de acuerdo a los datos de CBR de cada una de las muestras utilizando la fórmula de $7.2\% < MR < 20\%$, ya que todos los resultados de CBR se encuentran en ese rango.

Tabla 3.54: Resultados módulo resiliente

| Zona | Módulo resiliente (Mr) |
|--------|------------------------|
| Zona 1 | 7037,35 PSI |
| Zona 2 | 6907,2 PSI |
| Zona 3 | 7101,93 PSI |
| Zona 4 | 6254,06 PSI |
| Zona 5 | 6841,6 PSI |
| Zona 6 | 26685 PSI |
| Zona 7 | 29490 PSI |
| Zona 8 | 24945 PSI |

Fuente: Elaboración propia

- Se obtuvieron datos de serviciabilidad y según AASHTO Road Test la máxima calificación lograda para pavimentos flexibles inicial (Po) es de 4,2; para el índice de serviciabilidad terminal de diseño se toma el valor de (Pt) 2,0 que es la calificación para carreteras de un volumen de circulación menor, por lo que la diferencia del índice de serviciabilidad inicial y el índice de serviciabilidad terminal es de:

$$\Delta PSI = 2,2$$

- Se obtuvieron datos de desviación estándar de las variables, según AASHTO 93 para pavimentos flexibles varían valores de 0,4 – 0,50; de los cuales para un pavimento flexible nuevo el valor a usar es:

$$S_o = 0,45$$

- Se obtuvieron datos de confiabilidad según la clasificación funcional del camino de la localidad de Padcaya el cual es de clase colectoras ya que se va a diseñar el pavimento de los 6 barrios, se determinó utilizar el valor de $R= 75\%$, con una desviación estándar normal $Z_r= -0,67$.
- Los últimos datos para el diseño en el software son los coeficientes de elasticidad de los materiales según sus CBR y sus coeficientes de drenaje para los cuales se utilizó el valor de 1 que significa un buen drenaje.
- Los resultados fueron de espesor de capa de rodadura de 3,00 plg, capa base de 4,00 plg y de capa subbase de 6,00 plg. De acuerdo a los datos de tráfico, periodo de diseño los resultados son aptos para la zona.

Tabla 3.55: Resultados del programa

| | |
|------------------|-------|
| Capa subbase | 6 plg |
| Capa base | 4 plg |
| Capa de rodadura | 3 plg |

Fuente: Elaboración propia

- Constructivamente se adoptaron los valores de diseño de:

Tabla 3.56: Resultados constructivamente

| | |
|------------------|-------|
| Capa subbase | 35 cm |
| Capa base | 15 cm |
| Capa de rodadura | 8 cm |

Fuente: Elaboración propia

- Los datos de precipitación utilizados en el estudio fueron obtenidos de la Estación Cañas, la cual se encuentra ubicada en las proximidades de la localidad. Estos datos son relevantes para evaluar el impacto de las condiciones climáticas, especialmente en lo que respecta al drenaje de aguas pluviales y su influencia en el pavimento.
- El sistema de alcantarillado pluvial en la localidad de Padcaya presenta características particulares debido a la presencia de quebradas y riachuelos en su entorno. Esta configuración facilita el drenaje de las aguas pluviales y evita la acumulación de grandes volúmenes de agua en los ramales del sistema. Esta adecuada gestión de las aguas pluviales contribuye a mantener el pavimento en mejores condiciones y a prevenir problemas relacionados con inundaciones y deterioro del pavimento.
- Se realizó una propuesta de diseño de señalización vial vertical y horizontal para el tramo estudiado. Esta propuesta es de vital importancia debido al crecimiento urbano de la zona y a la falta de señalización adecuada. La señalización vial desempeña un papel fundamental en la prevención de accidentes de tránsito y en el mejoramiento del flujo vehicular.

- La implementación de una señalización vial adecuada, tanto vertical como horizontal, es esencial para mejorar el flujo vehicular en la zona central de Padcaya. Dado el tamaño limitado de las calles y el alto flujo vehicular durante la temporada de visitas al Santuario de la Virgen de Chaguaya, es necesario contar con una señalización efectiva que facilite el estacionamiento y garantice un recorrido satisfactorio tanto para los visitantes como para los residentes de la zona.
- La ejecución del proyecto presentado implicaría un costo estimado de 4'247.504,38 bolivianos.
- Se han desarrollado las especificaciones técnicas necesarias para la posible ejecución del paquete estructural diseñado.
- Es importante tener en cuenta que este estudio se realizó a partir del 14 de noviembre del año 2020, y desde entonces ha habido reformas que han mejorado el estado de las calles en la localidad de Padcaya. Por lo tanto, las referencias fotográficas utilizadas en el estudio pueden diferir de la situación actual.

4.2. Recomendaciones

- Es recomendable llevar a cabo una reconstrucción de las calles de la localidad de Padcaya, basándose en el diseño estructural propuesto y los datos obtenidos de la caracterización de los materiales de la zona. Esto permitirá mejorar las condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios.
- Es importante que las personas encargadas de realizar las inspecciones de campo de las unidades de muestra estén equipadas con el material necesario para su desplazamiento.
- Para realizar la evaluación estructural mediante el ensayo de la Viga Benkelman, se deben tomar todas las precauciones de seguridad adecuadas, como evitar aglomeraciones de tráfico y accidentes en la zona de inspección.

- El ensayo de la Viga Benkelman debe ser realizado bajo la supervisión de un ingeniero especializado en el tema, para garantizar el uso correcto del material y la selección adecuada de datos.
- Antes de iniciar el ensayo de la Viga Benkelman, es importante tener previamente determinados los puntos que serán evaluados, para agilizar la toma de datos.
- Para asegurar un funcionamiento apropiado de la señalización vial vertical y horizontal, es necesario realizar inspecciones regulares y proporcionar el mantenimiento adecuado.
- Se recomienda garantizar que el material extraído para el estudio de la subrasante de cada zona esté lo menos contaminado posible. Para ello, se debe realizar una limpieza de 30.00 cm en el área de extracción, lo cual contribuirá a obtener mejores resultados en su caracterización.
- Durante la realización de los laboratorios, es fundamental tener en cuenta todas las recomendaciones y cumplir con las restricciones específicas de cada laboratorio.
- En respuesta a las correcciones solicitadas por el tribunal, se ha decidido realizar los ensayos de CBR en un laboratorio privado, con el objetivo de aumentar los valores de CBR según lo requerido.