



**Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento
rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S**

Luisa Fernanda Hoyos Fernández

Informe de proyecto de práctica académica para optar al título de Ingeniera Civil

Asesor

Camilo Andrés Valderrama Benítez, Ingeniero Sanitario, Msc en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Civil
Apartadó
2023

Cita	(Hoyos Fernández, 2023)
Referencia	Hoyos Fernández, L. (2023). <i>Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S.</i> [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Apartadó.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico a Dios por darme la sabiduría para elaborarlo, a mis padres Jorge Hoyos y Yolima Fernández por su acompañamiento desde el principio hasta el final de la carrera, este mérito también es suyo. También, lo dedico a mis familiares, amigos y maestros, a cada persona que desde su conocimiento aportó a mi formación académica y personal.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida y guiarme en cada etapa de ella, por darme sabiduría para elegir esta maravillosa carrera y por su fortaleza en los momentos que dudé de mí. Le agradezco a mis padres por su inmenso apoyo en cada etapa de mi vida, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles, y en especial, por enseñarme que todas las metas se pueden alcanzar con la dirección de Dios, esfuerzo, dedicación y disciplina.

A mis abuelos y familiares, por su amor y apoyo.

A la Universidad de Antioquia por brindarme la oportunidad de crecer como profesional en sus instalaciones, gracias a cada maestro y profesional que desde su experiencia aportó a mi formación para convertirme en una profesional íntegra.

Agradezco a la empresa Grupo Tecmedic S.A.S por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de culminar mi formación universitaria junto a sus profesionales, agradezco principalmente a los ingenieros del área técnica por siempre tener disposición para trasmitirme su conocimiento y experiencia.

Finalmente, agradezco a mi amigo de carrera Jhon López por ser la mejor compañía en todo este proceso de aprendizaje y formación profesional.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	11
2 Marco teórico	12
3 Metodología	15
3.1 Revisión bibliográfica sobre los métodos de cálculo de cantidades de obras de pavimentos rígidos y flexibles	15
3.2 Identificación de las variables implicadas en la cubicación y presupuesto de pavimentos rígidos y flexibles	15
3.3 Desarrollo del mecanismo de mejoramiento del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de pavimentos rígidos y flexibles	16
3.4 Evaluación de los resultados encontrados mediante la implementación de la optimización	16
3.5 Elaboración del manual de procedimiento del mecanismo desarrollado	16
4 Resultados y Análisis	17
4.1 Pavimento rígido	17
4.2 Pavimento flexible	26
5 Conclusiones	33
Referencias	35
Anexos	36

Lista de tablas

Tabla 1. Datos de entrada generales pavimento rígido	18
Tabla 2. Datos específicos por tramo pavimento rígido	19
Tabla 3. Memoria de cálculo de excavación pavimento rígido	20
Tabla 4. Memoria de cálculo de acero de pavimento rígido	21
Tabla 5. Análisis de precios unitarios de conformación de calzada de pavimento rígido	23
Tabla 6. Costos de personal técnico y operativo del AIU.	24
Tabla 7. Plan de manejo de tránsito	24
Tabla 8. Actividades constructivas PMA.	25
Tabla 9. Comparación cantidades calculadas y ejecutadas pavimento rígido	26
Tabla 10. Datos generales pavimento flexible	27
Tabla 11. Datos específicos de entrada de pavimento flexible	27
Tabla 12. Memoria de cálculo de concreto asfáltico	28
Tabla 13. Memoria de cálculo de acero de pavimento flexible	29
Tabla 14. Análisis de precios unitarios de concreto asfáltico	30
Tabla 15. Pólizas del AIU	31
Tabla 16. Comparación cantidades calculadas y ejecutadas pavimento flexible	32

Lista de figuras

Figura 1. Esquema detalle estructural de pavimento flexible	12
Figura 2. Esquema general pavimento rígido	13
Figura 3. Esquema acero de refuerzo en placa de concreto pavimento rígido	13
Figura 4. Sección pavimento rígido	18
Figura 5. Movimientos de tierra por diseño geométrico de vía	20
Figura 6. Canastilla para dovelas de pavimento rígido	22
Figura 7. Sección pavimento flexible	26
Figura 8. Detalle de acero de refuerzo en andén	29

Siglas, acrónimos y abreviaturas

AIU	Administración, Imprevistos y Utilidad.
APU	Análisis de precios unitarios.
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías.
CAMACOL	Cámara Colombiana de la Construcción.
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías.
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
Pág.	Página.
PAGA	Plan de Adaptación de la Guía Ambiental.
PIARC	Asociación Mundial de la Carretera.
PMA	Plan de Manejo Ambiental.
PMT	Plan de Manejo de Tránsito.

Resumen

El presente trabajo ha sido desarrollado con el objetivo de optimizar el proceso de cálculo de cantidades y presupuestos de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S. Lo anterior, mediante la implementación de un software ofimático con funciones integradas que facilitó la automatización de memorias de cálculo de cantidades y la determinación de precios de cada actividad. De esta manera, se obtienen los costos directos e indirectos de un proyecto, requiriendo únicamente la inserción de las especificaciones técnicas de una obra. Para la elaboración de la herramienta de optimización, se realizó una revisión bibliográfica que permitió establecer las variables implicadas en la construcción de pavimentos; luego, empleando el software Microsoft Excel se diseñaron dos hojas de cálculo, una para pavimento rígido y otra para el flexible, en las cuales se automatizaron las memorias de cálculo y Análisis de Precios Unitarios (APU) para cada ítem del presupuesto, permitiendo la obtención de los costos directos e indirectos de una obra de manera simplificada. La aplicación de la herramienta diseñada en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S permitió incrementar la productividad del personal y reducir la dedicación en tiempo en el proceso de elaboración de presupuestos y cálculo de cantidades, además, considerando que se tiene una menor participación humana, se disminuye errores de cálculo y desperdicios.

Palabras clave: APU, cantidades de obra, presupuesto, pavimento rígido, pavimento flexible.

Abstract

This work has been developed with the objective of optimizing the process of calculating quantities and budgets of rigid and flexible pavement projects in the company Grupo Tecmedic S.A.S. Therefore, through the implementation of an office software with integrated functions that facilitated the automation of quantity calculation memories and the determination of prices for each activity. In this way, the direct and indirect costs of a project are obtained, requiring only the insertion of the technical specifications of a construction. For the development of the optimization tool, a bibliographic review was carried out to establish the variables involved in the construction of pavements; then, using Microsoft Excel software, two spreadsheets were created, one for rigid pavement and the other for flexible pavement, in which the calculation memories and Unit Price Analysis (UPA) were automated for each item of the budget, allowing to obtain the direct and indirect costs of a project in a simplified manner. The application of the tool designed in the company Grupo Tecmedic S.A.S. allowed to increase the productivity of the personnel and to reduce the dedication in time in the process of elaboration of budgets and calculation of quantities. In addition, considering that there is less human participation, calculation errors and wastes are reduced.

Keywords: UPA, quantities of work, budget, rigid pavement, flexible pavement, software.

Introducción

En Colombia, la industria de la construcción ha crecido considerablemente, de acuerdo con la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL, 2023), en el año 2022 el PIB del sector creció 3.5 veces más que el total de la economía del país, quedando incluido entre los que tuvieron mayor inversión a nivel nacional. Uno de los factores fundamentales en el desarrollo de proyectos constructivos es el componente económico, este es comúnmente controlado a través del presupuesto de obra, el cual corresponde a la valorización económica de las cantidades de cada rubro que conforma un determinado proyecto, su importancia radica en que permite conocer de forma anticipada el costo de la ejecución de la obra (Macchia, 2005).

La empresa Grupo Tecmedic S.A.S dentro del área de construcción, se dedica principalmente a la ejecución de obras viales, en el proceso de planificación de los proyectos, la presupuestación se realiza mediante el uso de Microsoft Excel de forma manual, para cada actividad constructiva se calcula la respectiva cantidad y se elabora un Análisis de Precio Unitario (APU) asociado a esta; posteriormente, se repite el mismo procedimiento para cada actividad y, finalmente, se consolida el costo total de la obra. Este proceso resulta reiterativo y extenso, por lo que tiende a requerir una gran inversión en tiempo del personal para su correcta elaboración.

Considerando lo anterior, el presente proyecto de prácticas pretende optimizar el mecanismo de cubicación y presupuestos de obra del escenario de prácticas mediante la implementación de una herramienta que permite realizar dicho procedimiento de manera automatizada, aprovechando que, según el tipo de pavimento que se tenga, el proceso constructivo y de cálculo de cantidades es el mismo. Para el desarrollo de esta herramienta, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de las metodologías existentes al respecto con el objetivo de establecer las variables implicadas en la construcción de pavimentos rígidos y flexibles; a partir de esto, se elaboró una plantilla base en el software ofimático Microsoft Excel que, con las características geométricas y las especificaciones técnicas del pavimento, permite obtener el presupuesto definitivo.

Así pues, con la implementación de esta herramienta, se obtuvo una simplificación notable del proceso de cálculo de cantidades y presupuestos de obras de pavimento rígido y flexible, dado que permite reducir hasta ocho veces el tiempo de entrega de los presupuestos y con ello, la dedicación requerida por parte del personal para el desarrollo de estos.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Optimizar el mecanismo de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible para la empresa Grupo Tecmedic S.A.S.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el actual proceso implementado para el cálculo de cantidades y presupuestos de obra en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S.
- Identificar las variables de mayor relevancia o influencia en la construcción de pavimentos rígidos y flexibles.
- Desarrollar el mecanismo de mejoramiento del proceso evaluado mediante una herramienta ofimática.

2 Marco teórico

La construcción de carreteras genera múltiples beneficios económicos y sociales, representando una base para el funcionamiento de todas las economías (Permanent International Association of Road Congresses [PIARC], 2014 ; conocido por su nombre en español como “Asociación Mundial de la Carretera”). A nivel nacional, se tiene que Colombia es un país en vía de desarrollo por lo que la infraestructura de transporte, y en especial de carreteras, son fundamentales para potenciar el crecimiento socioeconómico y la integración regional (Ospina, 2016). De acuerdo con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP] (2022), la pavimentación de vías es el principal destino de la inversión de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), por lo que en el país hay un constante financiamiento en este sector.

Los proyectos viales pueden ejecutarse de diferentes maneras según el tipo de estructura de pavimento que se tenga, estos se han clasificado históricamente en dos categorías principales: rígidos y flexibles; sin embargo, en la actualidad, han surgido nuevos tipos como lo son los pavimentos semirrígidos, conformados por una mezcla de compuestos rígidos y flexibles, y los pavimentos articulados, compuestos por piezas macizas prefabricadas unidas (Rondón & Reyes, 2022). Este trabajo se enfocará en los dos primeros.

Los pavimentos flexibles están compuestos de un sistema de capas de asfalto y de material pétreo como se observa en la **Figura 1**; estos son comúnmente usados en vías primarias con altos volúmenes de tráfico (INVÍAS, 2007).

Figura 1.

Esquema detalle estructural de pavimento flexible.



Nota. Adaptado de INVÍAS (2007).

Por otra parte, los rígidos están conformados por una losa de concreto, una base o subbase granular y un material de mejoramiento en caso de que sea necesario, como se muestra en la **Figura 2**. Debido a la rigidez de la losa de concreto, este tipo de pavimentos requieren de refuerzo longitudinal y transversal en acero (**Figura 3**), con el fin de que las cargas sean transmitidas correctamente y que la estructura trabaje monolíticamente (INVÍAS, 2008).

Figura 2.

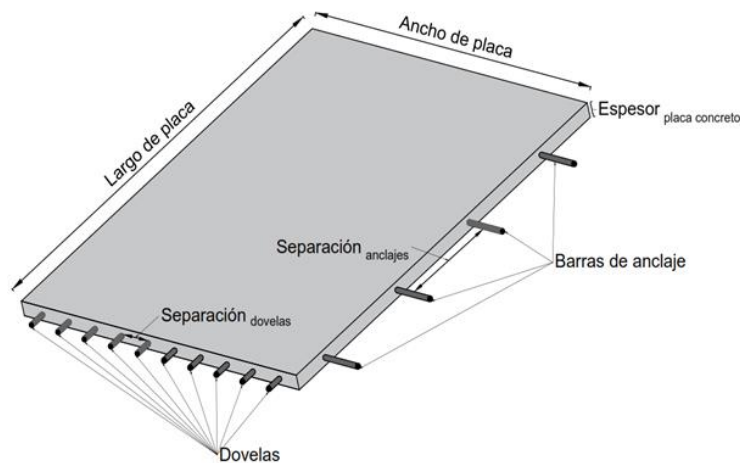
Esquema general pavimento rígido.



Nota. Adaptado de INVÍAS (2008).

Figura 3.

Esquema acero de refuerzo en placa de concreto pavimento rígido.



Nota. Adaptado de INVÍAS (2008).

En todo proyecto constructivo es fundamental el proceso de cálculo de cantidades de obra, su desarrollo surge por la necesidad de determinar la magnitud de las distintas actividades que componen una obra. En este procedimiento se debe seleccionar la unidad funcional más adecuada para cada tarea, que coincida con las establecidas en la industria y al mismo tiempo permita un correcto seguimiento de esta. La realización de cómputos métricos tiene múltiples aplicaciones, entre las cuales se encuentra presupuestar una obra, certificar tareas terminadas y ejecutar tareas

específicas, además, también permite determinar la eficiencia de lo proyectado en relación con lo ejecutado. (Macchia, 2007)

En términos generales el cálculo de cantidades permite tener un control en las diferentes fases de la obra: planeación, ejecución y certificación de lo terminado. La principal aplicación de este proceso está a nivel presupuestario en la fase de planificación del proyecto, dado que permite traducir las cantidades de obra a términos económicos, es decir, cuantificar la obra antes de que se ejecute; por lo anterior, es de suma importancia elaborar la cubicación de la manera más exacta posible, de acuerdo con los planos, especificaciones técnicas del proyecto y precios actuales en el mercado de los materiales, mano de obras y equipos (Barboza & Piminchumo, 2014).

Ahora bien, el desarrollo de un buen presupuesto de obra no depende únicamente de las cantidades, sino también de la correcta elaboración de los análisis de precios unitarios de cada actividad, los cuales deben incluir el costo de materiales, equipo, transportes y mano de obra y, adicionalmente, estos deben diseñarse de acuerdo con el método constructivo definido según las características intrínsecas y técnicas de la actividad. La correcta elaboración del presupuesto garantiza un balance positivo en términos económicos para el constructor (Sepúlveda, 2006).

Históricamente, el proceso de cubicación y presupuestación de obras de construcción se ha realizado empleando planillas de cálculo manuales, actualmente, el desarrollo de las tecnologías ha permitido la automatización de este proceso mediante softwares como Microsoft Excel, Project, STIMAT, Open Office Calc, entre otros (Vidal, 2023). En Colombia, existe una página web denominada Generador de precios de la construcción Colombia, esta produce análisis de precios unitarios (APU) según las características concretas de cada obra, permitiendo obtener precios específicos para el proyecto que se está presupuestando de acuerdo con los precios actuales del país (CYPE Ingenieros, S.A., 2023).

A nivel empresarial, Grupo Tecmedic S.A.S desarrolla la cubicación y presupuestación de obra empleando el software ofimático Microsoft Excel, el proceso de cálculo de cantidades se elabora de manera particular para cada obra de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada proyecto: se observan los planos de diseño y con el empleo de hojas de cálculo determinan las cantidades de cada ítem o actividad. Luego se realizan los análisis de precios unitarios de cada actividad constructiva, este proceso es repetitivo, por lo que con este trabajo se pretende diseñar una plantilla base que automatice el proceso, de manera que con el ingreso de las características del diseño arroje las cantidades y presupuesto del pavimento rígido o flexible.

3 Metodología

Para optimizar el mecanismo de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible para la empresa Grupo Tecmedic S.A.S se llevarán a cabo cinco etapas metodológicas descritas a continuación:

3.1 Revisión bibliográfica sobre los métodos de cálculo de cantidades de obras de pavimentos rígidos y flexibles

Se realizó una investigación acerca de las metodologías de cálculo de cantidades y presupuestos de obras existentes, para lo cual se emplearon las bases de datos de Google Scholar, Google Books, Redalyc, Scielo y Dialnet. Como criterio de selección del material bibliográfico, se tuvo en cuenta que los documentos contaran con una correcta estructuración teórica en relación con el tema trabajado, además, se revisó que la información contenida estuviera aplicada al contexto de la ingeniería civil. También, se consideró la normativa vigente en el país para el diseño y construcción de pavimentos rígidos y flexibles, establecida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Por otra parte, se identificó el método actualmente usado por la empresa Grupo Tecmedic S.A.S con el objetivo de hacer un diagnóstico e identificar falencias o procesos a mejorar.

3.2 Identificación de las variables implicadas en la cubicación y presupuesto de pavimentos rígidos y flexibles

Para establecer los datos de entrada necesarios para la elaboración de la herramienta de optimización planteada se tomó como base la normativa emitida por el ente regulador de infraestructura carretera en Colombia, el INVÍAS, el cual establece guías para la construcción y mantenimiento de vías. Para pavimentos rígidos se tiene el “Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito”, en el caso de los pavimentos flexibles se presenta el “Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajos volúmenes de tránsito”. Adicionalmente, con base en la revisión bibliográfica realizada se seleccionaron dos documentos que optimizan y complementan la información contenida en los manuales del INVÍAS, estos son: 1. “Guía práctica para la elaboración de Presupuestos” de Sepúlveda, (2006) y 2. “Pavimentos: Materiales, construcción y diseño” de Rondón & Reyes, (2022).

3.3 Desarrollo del mecanismo de mejoramiento del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de pavimentos rígidos y flexibles

Para la creación del mecanismo de mejoramiento se empleó el software ofimático Microsoft Excel, en este se establecieron unos datos de entrada de acuerdo con lo hallado en la etapa 2 y, posteriormente, se insertaron las ecuaciones matemáticas necesarias para calcular los datos de salida que corresponden a las cantidades de cada actividad, APU y costo total del proyecto. El anterior procedimiento se realizó individualmente para el pavimento rígido y flexible, dado que según sus métodos constructivos cuentan con diferentes variables de entrada.

3.4 Evaluación de los resultados encontrados mediante la implementación de la optimización

En esta etapa se evaluó la eficiencia del mecanismo implementado en relación con la metodología antes empleada por el escenario de prácticas. Para esto, inicialmente se comparó las cantidades, APU y costo total de un proyecto ya ejecutado por el escenario de prácticas con los datos obtenidos por medio de la herramienta desarrollada; de esta manera, se pudo detectar posibles errores o falencias en el procedimiento de cálculo empleado por el escenario de prácticas. Por otra parte, también se contrastaron los tiempos empleados para ejecutar este proceso con la metodología desarrollada en el presente trabajo y la antes usada por la empresa.

3.5 Elaboración del manual de procedimiento del mecanismo desarrollado

Se diseñó un manual de uso de la hoja de Excel para el cálculo de cantidades y presupuesto en el que se definen las partes que conforman esta herramienta, se describen los datos mínimos requeridos para su funcionamiento y se mencionan consideraciones que debe tener el usuario.

4 Resultados y Análisis

Inicialmente, con base en la revisión bibliográfica desarrollada en la etapa 1 de la metodología se seleccionaron cuatro documentos guía para establecer los parámetros de entrada de la herramienta de optimización; estos son:

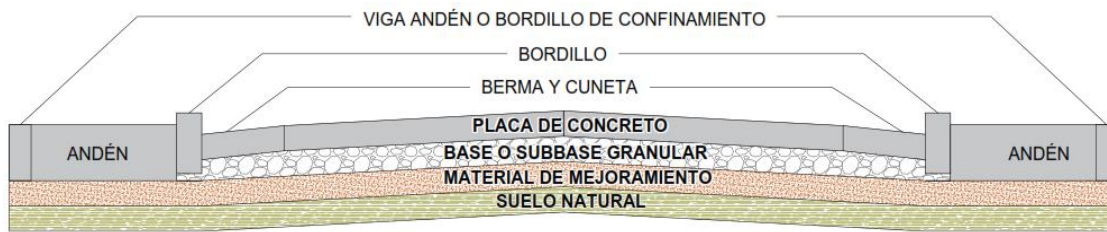
1. “Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito” del INVÍAS, (2008).
2. “Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajos volúmenes de tránsito” del INVÍAS, (2007).
3. “Guía práctica para la elaboración de Presupuestos” de Sepúlveda, (2006).
4. “Pavimentos: Materiales, construcción y diseño” de Rondón & Reyes, (2022).

Los dos primeros documentos mencionados anteriormente corresponden a los manuales del INVÍAS, emitidos como guía normativa por el ente regulador de infraestructura carretera en Colombia; estos manuales establecen las variables básicas implicadas en la construcción de pavimentos, sin embargo, no tienen en cuenta algunos elementos que se encuentran asociadas al método constructivo específico usado por el ejecutor. Debido a lo anterior, para establecer los datos de entrada necesarios para el funcionamiento de la hoja de cálculo, se consideraron los parámetros empleados por autores como Sepúlveda (2006), Rondón & Reyes (2022), estas variables fueron complementadas con las de presupuestos de proyectos ya ejecutados por el escenario de prácticas.

La articulación de la información encontrada en la revisión bibliográfica permitió obtener unos datos de entrada que contemplan todos los escenarios constructivos posibles de manera que ningún insumo sea subestimado, permitiendo obtener una formulación de presupuesto más ajustada a lo ejecutado en obra. Con base en la información recopilada, se estableció la elaboración de dos hojas de Excel independientes, una para el pavimento flexible y otra para el pavimento rígido, dado que, los procesos constructivos de los dos pavimentos son significativamente diferentes.

4.1 Pavimento rígido

Como punto de partida para la elaboración del mecanismo de optimización del pavimento rígido, se estableció una sección transversal general de vía como se muestra en la **Figura 4**, la cual contiene las posibles variables que se pueden presentar en las especificaciones técnicas de este tipo de pavimentos.

Figura 4.*Sección pavimento rígido.**Nota.* Adaptado de INVÍAS (2008).

Una vez ilustrados los parámetros de entrada requeridos, se elaboró una hoja de cálculo con los datos de entrada; es importante aclarar que dentro de un mismo proyecto vial se pueden presentar diferentes secciones transversales según el número de tramos de la obra, por lo que la recolección de datos de entrada de la herramienta elaborada se divide en dos tipos. Por un lado, se tienen los parámetros generales del proyecto mostrados en la **Tabla 1** y que corresponden a información fija que es aplicable a todos los tramos, independiente de su cantidad. Por otra parte, se tienen las especificaciones de la sección transversal que dependerán del número de tramos del proyecto y de las características intrínsecas de cada una de ellas, dichos datos se presentan en la **Tabla 2** y constan principalmente de la selección de información de listas desplegables o inserción de datos numéricos.

Tabla 1.*Datos de entrada generales pavimento rígido.*

DATOS GENERALES DEL PROYECTO	
Nombre del proyecto:	
Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S	
Municipio:	Apartadó
Departamento:	Antioquia
Número de tramos:	1
Duración de la obra (meses):	6
Distancias a centro de gravedad	
Botadero (km)	15
Cantera base o subbase (km)	25
Cantera afirmado (km)	25
Cantera agregados concretos (km)	20
Caracterización vial	
Longitud a caracterizar (km)	20

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2.*Datos específicos por tramo pavimento rígido.*

DATOS ESPECÍFICOS DEL TRAMO		Anclajes y dovelas		Refuerzo viga cierre andén	
Tramo:	1	Longitud de anclajes (m)	0.9	Longitud de estribos (m)	0.4
Especificaciones vía		Diámetro anclajes: Barra N°	2	Diámetro estribos: Barra N°	3
Abscisa inicio (m)	K10+230.0	Número de anclajes	3	Separación de estribos (m)	0.3
Abscisa fin(m)	K12+390.0	Diámetro dovelas: Barra N°	6	N° barras longitudinales	2
Longitud tramo(m)	2160	Longitud de dovelas (m)	0.3	Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	2
Especificaciones capas del pavimento		Número dovelas	2	Características bordillo	
Tipo de base	Clase B	Refuerzo cuneta		Alto bordillo(m)	0.4
Espesor base(m)	0.2	Tipo de refuerzo	Malla electrosoldada	Ancho bordillo(m)	0.15
Tipo de subbase	Clase B	Malla electrosoldada		Largo bordillo prefabricado(m)	0.8
Espesor subbase(m)	0.1	Designación de malla	XX-084	Refuerzo bordillo insitu	
Espesor afirmado(m)	0.1	Refuerzo longitudinal y transversal		Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	2
Especificaciones losa de concreto		Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	2	N° de barras long. (m)	1
Resistencia concreto MR(Mpa)	3.8	Separación long. (m)	0.1	Diámetro ganchos: Barra N°	2
Largo de placa(m)	4	Longitud ref. transversal (m)	0.4	Longitud de gancho (m)	0.6
Ancho de placa (m)	3.5	Diámetro ref. transversal: Barra N°	2	Separación ganchos (m)	0.2
Espesor losa (m)	0.2	Separación transversal (m)	0.15	Rampa de acceso vial	
Especificaciones de refuerzo		Características andén		Cantidad de rampas de acceso:	1
Refuerzo: Dovelas		Ancho andén (m)	1.2	Ancho de rampa(m)	8
Diámetro dovelas: Barra N°	8	Espesor concreto andén (m)	0.08	Largo de rampa(m)	1.2
Longitud de dovelas (m)	0.3	Espesor base andén (m)	0.1	Espesor de rampa(m)	0.2
Número dovelas	10	Espesor subbase andén (m)	0.1	Longitud ref. longitudinal (m)	1.2
Refuerzo: Barras de anclaje		Espesor afirmado andén (m)	0.3	Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	4
Diámetro anclajes: Barra N°	2	Espesor de excavación andén(m)	0.05	Separación ref. longit. (m):	0.2
Longitud de anclajes(m)	0.9	Tipo de confinamiento	Viga cierre	Longitud ref. transversal (m)	8
Número anclajes	3	Altura viga cierre (m)	0.2	Diámetro ref. transversal: Barra N°	4
Características sección transversal		Ancho viga cierre (m)	0.1	Separación ref. transv. (m):	0.25
Obras laterales		Superficies táctiles		Refuerzo viga rampa vial	
Berma	Si	Loseta táctil alerta rampa	20x20	Longitud de estribos (m)	0.4
Ancho de berma (m)	0.3	Loseta táctil guía	20x20	Diámetro estribos: Barra N°	3
Cuneta	Si	Loseta táctil alerta rectangular	10x20	Separación de estribos (m)	0.3
Ancho de cuneta (m)	0.2	Rampa peatonal		N° barras longitudinales	2
Zona peatonal	Andén	Cantidad de rampas peatonas	1	Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	2
Confinamiento vía	Bordillo prefabricado	Largo de rampa peatonal (m)	1.5	Canastilla para dovelas	
Refuerzo berma		Ancho de rampa peatonal (m)	1.2	Longitud de ganchos (m)	0.13
Tipo de refuerzo	Parrilla ref. long. y transv.	Ancho de loseta en rampa (m)	0.6	Diámetro apoyos: Barra N°	2
Malla electrosoldada		Refuerzo andén		Movimientos de tierra (DGV)	
Designación de malla	XX-084	Malla electrosoldada	Si	Excavaciones DGV(m³)	200
Refuerzo longitudinal y transversal		Designación de malla	XX-084	Llenos DGV (m³)	300
Diámetro ref. longitudinal: Barra N°	3	¿Desea excavar el espesor de la siguiente capa?		Material de afirmado	Si
Separación long. (m)	0.1			Subbase	Si
Longitud ref. transversal (m)	0.5			Base	Si
Diámetro ref. transversal: Barra N°	3				
Separación transversal (m)	0.15				

Nota. Elaboración propia, remitirse al **Anexo 1** para observar el manual guía para el ingreso de datos.

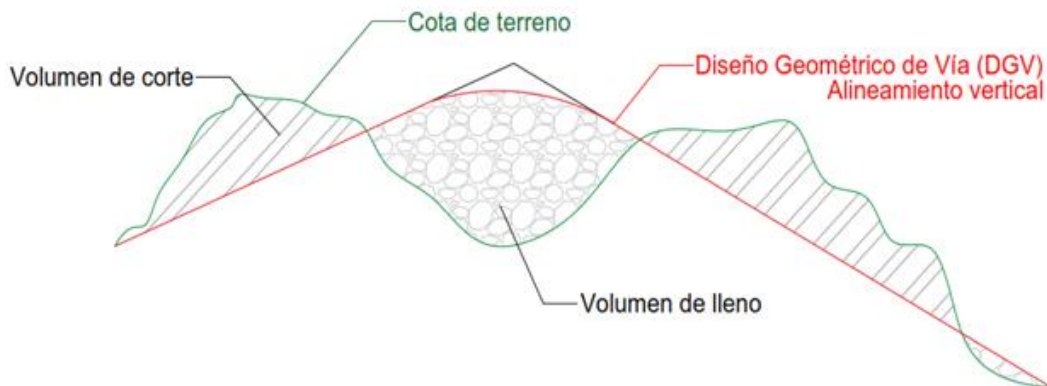
Con base en los datos de entrada, la hoja de cálculo establece los ítems que aplican a cada tramo de vía y las actividades que conformarán el presupuesto; a partir de estas, se calculan las cantidades de obra en las memorias de cálculo, las cuales se automatizaron empleando funciones integradas de Microsoft Excel como condicionales y ecuaciones matemáticas simples que facilitan la cubicación. Por otra parte, los datos de entrada que se solicitan al usuario están asociados a representaciones gráficas ilustrativas que permiten tener una mayor claridad de la información solicitada, evitando ambigüedades y posibles confusiones por los términos designados en la herramienta de optimización elaborada para cada uno de los pavimentos.

Tabla 3.*Memoria de cálculo de excavación pavimento rígido.*

CAPÍTULO	1	Estructura de pavimento							
SUBITEM	1.1	Excavación en material común de la explanación y canales. No incluye transporte ni disposición final del material sobrante.							
TIPO	ELEMENTO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)		VOLUMEN (m ³)	UNIDAD	SUBTOTAL	
DGV	Excavación					200	m ³	200.00	
Tramo 1	Afirmado	2160.00	7.90	0.10		1706.4	m ³	1,706.40	
Tramo 1	Base	2160.00	7.90	0.20		3412.8	m ³	3,412.80	
Tramo 1	Subbase	2160.00	7.90	0.10		1706.4	m ³	1,706.40	
Der. e Izq.	Bordillo	4320.00	0.15	0.30		194.4	m ³	194.40	
Der. e Izq.	Andén	4320.00	1.20	0.05		259.2	m ³	259.20	
						ITEM	1.1	TOTAL	7,479.20

Nota. Elaboración propia.

En la **Tabla 3** se muestra la memoria de cálculo de las excavaciones, esta depende de los espesores de cada capa que conformará el pavimento y de acuerdo con lo deseado por el usuario dicho valor puede incrementar o reducirse; además, considerando que en ocasiones es necesario realizar cortes de talud para cumplir con los parámetros mínimos establecidos por el INVÍAS en el alineamiento vertical, se insertó una variable de excavación por diseño geométrico de vía, en la **Figura 5** se muestra esta variable de manera esquemática.

Figura 5.*Movimientos de tierra por diseño geométrico de vía.*

Nota. Adaptado de INVÍAS (2008).

Por otra parte, con respecto a los ítems de base y subbase, es importante aclarar que generalmente los pavimentos rígidos únicamente requieren de una de estas dos capas debido a la rigidez de su placa de concreto; sin embargo, en este trabajo estos dos ítems se desarrollaron de manera separada para dar libertad al usuario de hacer uso de ambas simultáneamente en caso de que las especificaciones del proyecto así lo estipulen. De esta manera, se obtuvo una herramienta de optimización más amplia para el usuario sin restricciones en las capas granulares.

También, es importante resaltar la memoria del acero de refuerzo, dado que es un ítem presente en múltiples elementos del pavimento rígido por lo que su cantidad es significativa y resulta siendo representativo en el costo final del presupuesto. Para el cálculo del acero de refuerzo requerido en el proyecto, se establecieron las variables de entrada según el tipo de estructura requerida por el diseño, tales como berma, cuneta, rampa de acceso vial, andén y bordillo. Adicionalmente, se consideró el tipo de refuerzo, que pueden ser varillas longitudinales, transversales, estribos o malla electrosoldada. En la **Tabla 4** se muestra a detalle los cálculos realizados para este ítem.

Tabla 4.

Memoria de cálculo de acero de pavimento rígido.

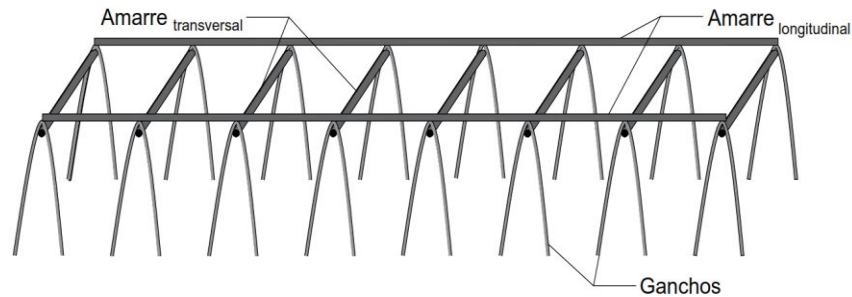
CAPÍTULO	1	Estructura de pavimento								
SUBITEM	1.9	Acero de refuerzo fy 420MPA								
TIPO	ELEMENTO	CANT. LOSAS	LONGITUD (m)	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS POR LOSA	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)	UNIDAD	SUBTOTAL	
Tramo 1	Dovelas	1080	0.30	8	10.00	3246.00	3.97	kg	12,896.36	
Tramo 1	Barras de andaje	540	0.90	2	3.00	1458.00	0.25	kg	364.50	
Tramo 1	Canastillas ganchos	1080	0.13	2	20.00	2808.00	0.25	kg	702.00	
Tramo 1	Canastillas amarre transv.	1080	0.30	2	10.00	3240.00	0.25	kg	810.00	
Tramo 1	Canastillas amarre longit.	1080	3.30	2	2.00	7128.00	0.25	kg	1,782.00	
Der. e l Izq.	Berma ref. transv.	1080	0.50	3	27.00	14580.00	0.56	kg	8,164.80	
Der. e l Izq.	Berma ref. long.		4320.00	3	3.00	12960.00	0.56	kg	7,257.60	
	ELEMENTO	ANCHO (m)	LONGITUD (m)				PESO (kg/m ²)			
Der. e l Izq.	Malla electros. cuneta	0.2	4320.00				1.33	kg	1,152.00	
	ELEMENTO	ANCHO (m)	LONGITUD (m)				PESO (kg/m ²)			
Der. e l Izq.	Malla electros. Andén	0.65	4320.00				1.33	kg	3,744.00	
Tramo 1	Malla electros. rampa andén	0.60	1.50				1.33	kg	1.20	
	ELEMENTO	CANT. LOSAS	LONGITUD (m)	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)			
Der. e l Izq	Viga cierre ref. estribos	1080	0.40	3	13.00	5616.00	0.56	kg	3,144.96	
Der. e l Izq	Viga cierre ref. longit.		4320.00	2	2.00	8640.00	0.25	kg	2,160.00	
	ELEMENTO	CANTIDAD DE RAMPAS	LONGITUD BARRAS	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)			
Tramo 1	Rampa de acceso vial longit.	1	1.20	4	40.00	48.00	0.99	kg	47.71	
Tramo 1	Rampa de acceso vial transv.	1	8.00	4	5.00	40.00	0.99	kg	39.76	
	ELEMENTO	CANTIDAD DE RAMPAS	LONGITUD (m)	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)			
Tramo 1	Viga rampa ref. estribos	1	0.40	3	27.00	10.80	0.56	kg	6.05	
Tramo 1	Viga rampa ref. longit.	1	8.00	2	2.00	16.00	0.25	kg	4.00	
							ÍTEM	1.9	TOTAL	42,276.94

Nota. Elaboración propia.

En la **Figura 6** se ilustran las canastillas para las dovelas, estas son empleadas en las juntas transversales para sostener las dovelas en la altura dada desde los diseños estructurales durante el vaciado de placa, por lo que se encuentran asociadas al método constructivo usado por Grupo Tecmedic S.A.S, en consecuencia, no son contempladas en el manual del INVÍAS. Ahora bien, considerando que el acero de refuerzo utilizado en estos elementos es significativo en términos de cantidad y de presupuesto, el desprecio de esta variable implica un mal cálculo de cantidades y puede ocasionar pérdidas económicas.

Figura 6.

Canastilla para dovelas de pavimento rígido.



Nota. Elaboración propia.

Una vez calculadas las cantidades de cada actividad del presupuesto se estableció un listado de insumos, equipos y cuadrillas, donde cada uno de ellos cuenta con una descripción, una unidad y un precio unitario. A partir de dichos listados se realizaron los análisis de precios unitarios empleando el formato mostrado en la **Tabla 5**, el cual se encuentra conformado por cuatro ítems:

- i.** Materiales en obra.
- ii.** Equipos y herramientas.
- iii.** Transportes.
- iv.** Mano de obra.

Cada uno de los APU's incluidos en la herramienta diseñada se encuentra automatizado de acuerdo con los datos de entrada, sin embargo, según las preferencias del usuario pueden ser modificados los precios de los insumos y sus respectivos rendimientos, de acuerdo con los "APU's Regionalizados de Referencia" del INVÍAS que son actualizados semestralmente por esta entidad. Es por esto que, dentro del formato de APU propuesto, algunas de las celdas se encuentran en color gris, representando que corresponden a datos que pueden ser modificados por el usuario, mientras que las celdas en blanco se encuentran automatizadas. Por ejemplo, en el caso de la losa de concreto, se estableció una resistencia variable dada por el usuario en los datos de entrada; esta se modifica automáticamente en el nombre de la actividad y en los insumos del APU, por lo que la herramienta garantiza la coherencia de los diferentes componentes y elementos del presupuesto en relación con los datos ingresados por el usuario.

Tabla 5.

Análisis de precios unitarios de conformación de calzada de pavimento rígido.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CAPITULO:	Estructura de pavimento	Municipio:		Apartadó		
		Departamento		Antioquia		
ACTIVIDAD:	Conformación de la calzada existente.					
ITEM:	1.3			UNIDAD	m ²	
I. MATERIALES EN OBRA						
	Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor Unitario	
	Agua	Lt	\$ 90	5	\$450,00	
					Sub-Total	\$450,00
II. EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
	Descripción	Unidad	Tarifa/Unidad	Rendimiento	Valor Unitario	
	Herramientas menores (5% m.o)			5%	\$ 15	
	Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m	h	\$ 200.000	100	\$ 2.000	
	Vibrocompactador, potencia 153 HP, peso 10 Ton.	día	\$ 170.000	100	\$ 1.700	
					Sub-Total	\$ 3.715
III. TRANSPORTES						
	Materiales	Vol-Peso	Distancia	M3/Km	Tarifa	Valor Unitario
					Sub-Total	\$0,00
IV. MANO DE OBRA						
	Trabajador o Cuadrilla	CANTIDAD	JORNAL	Jornal/total	Rendimiento	Valor Unitario
	Oficial 1	1	\$62.687,00	\$98.600,38	800	\$123
	Ayudante(2)	2	\$86.708,00	\$136.383,01	800	\$170
					Sub-Total	\$294
	Total Costos Directos			Sub. Item	1.3	\$ 4.458

Nota. Elaboración propia.

A partir de las cantidades y de los APU's de cada actividad se obtuvieron los costos directos del presupuesto. Para determinar los costos indirectos del proyecto se desarrolló el desglose de los gastos Administrativos, Imprevistos y Utilidad (AIU); también, se dentro de estos costos se contempló el Plan de Manejo de Tránsito (PMT), la caracterización vial y el presupuesto ambiental, dado comúnmente por un Plan de Adaptación de la Guía Ambiental (PAGA) o en casos de vías que implican un alto impacto ambiental un Plan de Manejo Ambiental (PMA).

Para el desglose del AIU del presente trabajo, se desarrolló una plantilla que contempla costos de personal técnico, personal operativo, gastos operacionales, control de calidad, pólizas e impuestos. En donde, según el alcance y la magnitud del proyecto el usuario podrá variar estos componentes, por lo que este apartado puede presentar variaciones significativas. En la **Tabla 6** se

muestran los ítems de costos de personal técnico y operativo que conforman la plantilla de AIU elaborada.

Tabla 6.

Costos de personal técnico y operativo del AIU.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Cantidad	V.M./BASE	FACT PREST.	DEDICACIÓN	DURACIÓN OBRA (Meses)	V.PARCIAL
1	PERSONAL PROFESIONAL TÉCNICO							\$ 139.874.059,00
1.1	Director de obra	und	1	\$ 5.800.000,00	153,29%	50%	6	\$ 26.672.460,00
1.2	Ingeniero residente de obra	und	1	\$ 4.060.000,00	153,29%	100%	6	\$ 37.341.444,00
1.3	Trabajador social	und	2	\$ 2.500.000,00	153,29%	100%	6	\$ 45.987.000,00
1.4	Profesional SISO	und	1	\$ 3.248.000,00	153,29%	100%	6	\$ 29.873.155,00
2	PERSONAL OPERATIVO Y ACTIVO							\$ 70.063.257,00
2.1	Maestro de Obra	und	1	\$ 2.436.000,00	157,29%	100%	6	\$ 22.989.506,00
2.2	Almacenista	und	1	\$ 1.160.000,00	157,29%	100%	6	\$ 10.947.384,00
2.3	Cadenero 1°	und	1	\$ 1.392.000,00	157,29%	100%	6	\$ 13.136.861,00
2.4	Delineante arquitectura	und	1	\$ 2.436.000,00	157,29%	100%	6	\$ 22.989.506,00

Nota. Elaboración propia.

En el caso del PMT, se desarrollaron APU's para cada dispositivo de señalización requerido según el alineamiento vertical u horizontal del proyecto, en la **Tabla 7** se presenta la plantilla desarrollada para este apartado.

Tabla 7.

Plan de manejo de tránsito.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	VR. UNIT	VR. TOTAL			
1.0	DISPOSITIVOS, SEÑALIZACION Y EQUIPOS				\$ 18.373.940,00			
1.1	Delineadores tubulares (Colombinas)	Un	30	\$ 70.166,00	\$ 2.104.980,00			
1.2	Barreras plasticas de Aproximación (Maletines o similar)	Un	8	\$ 594.269,00	\$ 4.754.152,00			
1.3	Cinta Plastica "PELIGRO NO PASE"	M	2500	\$ 313,00	\$ 782.500,00			
1.4	Flasher luminoso para barricadas	Un	3	\$ 90.039,00	\$ 270.117,00			
1.5	SPO-01 Trabajadores en la vía	Un	3	\$ 393.012,00	\$ 1.179.036,00			
1.6	SPO-02 Maquinaria en la vía	Un	3	\$ 393.012,00	\$ 1.179.036,00			
1.7	SPO-03 Auxiliar de Tránsito	Un	3	\$ 393.012,00	\$ 1.179.036,00			
1.8	SRO-0 Cierre de Vía	Un	3	\$ 393.011,00	\$ 1.179.033,00			
1.9	SRO-04 Pare/Siga	Un	3	\$ 343.300,00	\$ 1.029.900,00			
1.10	SPO-30 Reduccion Asimetrica de Calzada Izquierda	Un	3	\$ 393.013,00	\$ 1.179.039,00			
1.10	SPO-31 Reduccion Asimetrica de Calzada Derecha	Un	3	\$ 393.013,00	\$ 1.179.039,00			
1.11	SIO-03 Fin de Obra	Un	3	\$ 393.012,00	\$ 1.179.036,00			
1.12	SIO-24 Peatones	Un	3	\$ 393.012,00	\$ 1.179.036,00			
2.0	IMPLEMENTACIÓN PLAN DE CONTINGENCIA				\$ 1.620.000,00			
2,1	Alquiler de Alquiler de Camioneta o Campero 4x4 modelo 2015 en adelante, incluye conductor, comustible y mantenimiento. Para transporte de población afectada por cierre temporal (50% DE DISPONIBILIDAD)	Mes	3	\$ 540.000,00	\$ 1.620.000,00			
SUBTOTAL PLAN DE MANEJO DE TRÁFICO DISPOSITIVOS, SEÑALIZACION Y PLAN DE CONTINGENCIA					\$ 19.993.940,00			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	V.M./Base	Fact Prest.	Dedicación	Duración de la obra (Meses)	Valor parcial
3.0	PERSONAL PROFESIONAL, AUXILIARES DE							
3.1.2	Auxiliar de Tránsito	MES	1,0	\$ 1.160.000	157,29%	100%	6	\$ 10.947.384,00
SUBTOTAL IMPLEMENTACIÓN PLAN DE MANEJO DE TRAFICO (PERSONAL)								\$ 10.947.384,00
VALOR TOTAL IMPLEMTACIÓN PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO								30.941.324,00

Nota. Elaboración propia.

En el caso del presupuesto ambiental, se realizó una plantilla que contempla cuatro actividades: 1. Actividades constructivas, 2. Biodiversidad y servicios ecosistémicos, 3. Manejo de campamento e instalaciones temporales y 4. Gestión social. En la **Tabla 8** se muestra el presupuesto ambiental de las actividades constructivas. Es importante aclarar que estos cuatro componentes son comúnmente aplicados en obras viales, sin embargo, dependiendo el impacto ambiental de la obra y de su magnitud puede requerirse de la implementación de dos componentes más: 1. “Desarrollo y Aplicación de la Gestión Ambiental” y 2. “Programa de Gestión Hídrica”.

Tabla 8.

Actividades constructivas PMA.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR PARCIAL
1.0	ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS				
1.1	Manejo Integral de Materiales de Construcción, pétreos, concretos, prefabricados				
1.1.1	Plástico negro, calibre 6 y ancho de 2m u otros elementos para la protección del suelo durante el almacenamiento o preparación de materiales de construcción	ROLLO	4	\$ 846.000,00	\$ 3.384.000,00
1.1.2	Kit de 6 señalización en zonas de acopio, sitios de disposición temporal de residuos, rótulos de pampinas (la señalización debe estar laminada o plastificada letra visible 0,25x0.4m)	UND	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
1.1.3	Cinta para cerramiento (rollo 500m de longitud)	UND	2	\$ 34.000,00	\$ 68.000,00
1.2	Manejo de Residuos Sólidos Convencionales y Especiales				
1.2.1	Punto ecológico 3 colores de 100 litros con tapa debidamente rotulados	UND	2	\$ 315.000,00	\$ 630.000,00
1.2.2	Paquete de Bolsas de Colores (4) Biodegradables para puntos ecológicos 100x120cm x100 Unidades	UND	5	\$ 98.000,00	\$ 490.000,00
1.2.3	Herramientas y equipos para el aseo y limpieza en la obra	UND	4	\$ 89.564,00	\$ 358.256,00
	TOTAL ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS				\$ 5.010.256,00

Nota. Elaboración propia.

En términos generales, los costos indirectos de un proyecto son fundamentales para determinar su valor total, si bien, no se encuentran asociados a las actividades propias de la obra, sus componentes son complementarios a la parte técnica del proyecto por lo que su incumplimiento puede impedir la finalización de la obra. Es importante aclarar que las plantillas bases establecidas en el presente trabajo están sujetas a cambios significativos según las necesidades específicas de cada proyecto y de su magnitud.

Finalmente, en la **Tabla 9** se presenta una comparación entre las cantidades calculadas con la herramienta elaborada y las cantidades formuladas en un proyecto de pavimento rígido del escenario de prácticas. Se puede apreciar que en el ítem de excavaciones la cantidad calculada fue de 1.984,69 m³ y la formulada fue de 1.593,39 m³, presentando una diferencia de 391,3 m³, esta diferencia afectó simultáneamente la cantidad del transporte, cuyo valor calculado fue de 38.701,00 m³/km y el formulado de 31.071,11 m³/km, tuvo una variación de 7.629,89 m³/km. Por otra parte, el material de afirmado calculado fue de 3.562,00 m³ y el formulado fue 3.078,09 m³, por lo que

se presentó una diferencia de 483,91 m³, estas disparidades se deben a que en el presupuesto de ejecución no se tuvieron en cuenta las excavaciones y llenos debidos al diseño geométrico de vía; por otra parte, el acero también presentó diferencias significativas, la cantidad calculada fue de 46.589,81kg y la formulada fue de 39.302,94kg, presentando una diferencia de 7.286,87kg, esta variación se debe que no se consideraron los ganchos que sostienen las dovelas. Esta comparación permitió evaluar la eficiencia de la herramienta de optimización y verificar su correcto funcionamiento.

Tabla 9.

Comparación cantidades calculadas y ejecutadas pavimento rígido.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad herramienta	Cantidad Tecmedic
1	Estructura de pavimento			
1.1	Excavación en material común de la explanación y canales. No incluye transporte ni disposición final del material sobrante.	m ³	1,984.69	1,593.39
1.2	Transporte de material proveniente de la excavación de la explanación, canales y prestamos para distancias mayores de mil metros (1000 M) medido a partir de 100 metros (100 M), que es la distancia libre. Material compacto (Incluye 30% de expansión).	m ³ /km	38,701.00	31,071.11
1.3	Conformación de la calzada existente.	m ²	17,064.00	17,056.10
1.4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Sub-Base Granular Clase B (incluye transporte)	m ³	2,225.00	2,223.77
1.5	Material de afirmado o mejoramiento	m ³	3,562.00	3,078.09
1.6	Losa de concreto MR=3,8 Mpa. Suministro, Formateado, Colocación, Curado, juntas y Acabado. No Incluye Acero.	m ³	3,163.00	3,161.60
1.7	Suministro e instalación de bordillo in-situ de 21MPa	m	4,320.00	4,318.00
1.8	Acero de refuerzo fy 420MPa	kg	46,589.81	39,302.94
1.9	Concreto de resistencia 21MPa (D) (Andén)	m ³	267.91	267.79
1.10	Suministro, transporte y colocación de loseta táctil guía y alerta para discapacitados visuales	m ²	1,300.00	1,296.30

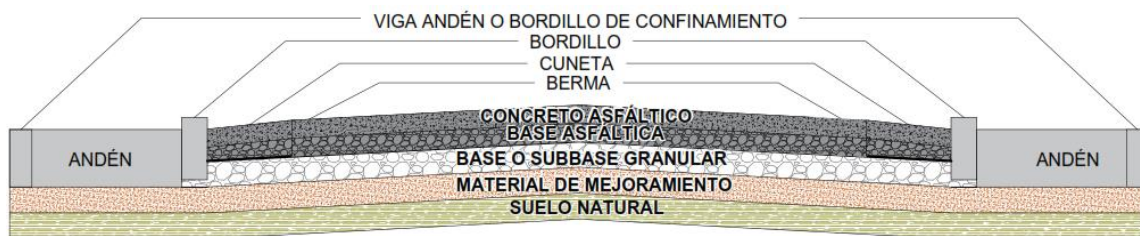
Nota. Elaboración propia.

4.2 Pavimento flexible

Para la elaboración de la herramienta de optimización de pavimento flexible, se estableció una sección transversal general de vía como se muestra en la **Figura 7**, la cual contiene las posibles variables que se pueden presentar en las especificaciones técnicas de este tipo de pavimentos.

Figura 7.

Sección pavimento flexible.



Nota. Adaptado de INVÍAS (2007).

Posteriormente, se procede a establecer los datos de entrada, los cuales, al igual que el pavimento rígido, se dividirán en dos secciones; los datos generales del proyecto (**Tabla 10**) y los datos específicos de cada tramo (**Tabla 11**), que dependerán del diseño de sección transversal que presente el mismo. Dichos datos constan principalmente de la selección de información en listas desplegables o inserción de datos numéricos.

Tabla 10.

Datos generales pavimento flexible.

DATOS GENERALES DEL PROYECTO	
Nombre del proyecto:	
Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S	
Municipio:	Apartadó
Departamento:	Antioquia
Número de tramos:	1
Duración de la obra (meses):	6
Distancias a centro de gravedad	
Botadero (km)	15
Cantera base o subbase (km)	25
Cantera afirmado (km)	25
Cantera agregados concretos (km)	20
Caracterización vial	
Longitud a caracterizar (km)	20

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11.

Datos específicos de entrada de pavimento flexible.

DATOS ESPECÍFICOS DEL TRAMO		Refuerzo cuneta		Refuerzo andén	
Tramo:	1	Tipo de refuerzo	Parrilla ref. long. y transv.	Malla electrosoldada	Si
Especificaciones vía		Malla electrosoldada		Designación de malla	XX-084
Abscisa inicio (m)	K11+230.0	Designación de malla		Refuerzo viga cierre andén	
Abscisa fin(m)	K12+390.0	XX-084		Longitud de estribos (m)	0.4
Longitud tramo (m)	1160	Refuerzo longitudinal y transversal		Diámetro _{estribos} : Barra N°	3
Ancho de pavimento (m)	8	Diámetro _{ref. Longitudinal} : Barra N°	2	Separación de estribos (m)	0.3
Especificaciones capas del pavimento		Separación long. (m)	0.1	N° barras longitudinales	2
Ancho de vía (m)	7.2	Longitud _{ref. transversal} (m)	0.4	Diámetro _{ref. Longitudinal} : Barra N°	2
Espesor concreto asfáltico (m)	0.15	Diámetro _{ref. transversal} : Barra N°	2	Características bordillo	
Base asfáltica (m)	0.1	Separación transversal (m)	0.15	Alto bordillo(m)	0.4
Riego de liga	Si	Características andén		Ancho bordillo(m)	0.15
Imprimación	Si	Ancho andén (m)	1.2	Largo bordillo _{prefabricado} (m)	0.8
Número capas de geotextil _{separat}	2	Espesor concreto andén (m)	0.08	Refuerzo bordillo insitu	
Resistencia geotextil	T 1700	Espesor base andén (m)	0.1	Diámetro _{ref. Longitudinal} : Barra N°	2
Tipo de base	Clase C	Espesor subbase andén (m)	0.1	N° de barras long. (m)	1
Espesor base(m)	0.15	Espesor afirmado andén (m)	0.3	Diámetro _{ganchos} : Barra N°	2
Tipo de subbase	Clase C	Espesor de excavación andén(m)	0.05	Longitud de gancho (m)	0.6
Espesor subbase(m)	0.2	Tipo de confinamiento	Viga cierre	Separación ganchos (m)	0.2
Espesor afirmado(m)	0.4	Altura viga cierre (m)	0.2	Movimientos de tierra (DGV)	
Características sección transversal		Ancho viga cierre (m)	0.1	Excavaciones DGV(m ³)	458
Obras laterales		Superficies táctiles		Llenos DGV (m ³)	210
Berma	Si	Loseta táctil alerta rampa	20x20	¿Desea excavar el espesor de la siguiente capa?	
Ancho de berma (m)	0.3	Loseta táctil guía	20x20	Material de afirmado	Si
Cuneta	Si	Loseta táctil alerta rectangular	10x20	Subbase	Si
Ancho de cuneta (m)	0.2	Rampa peatonal		Base	Si
Zona peatonal	Ninguno	Cantidad de rampas peatones	1		
Confinamiento vía	Bordillo insitu	Largo de rampa peatonal (m)	1.5		
		Ancho de rampa peatonal (m)	1.2		
		Ancho de loseta en rampa (m)	0.6		

Nota. Elaboración propia, remitirse al **Anexo I** para observar el manual guía para el ingreso de datos.

Como apoyo visual para los datos de entrada del pavimento flexible se diseñaron imágenes guía en donde se aprecian los parámetros solicitados señalados en los elementos estructurales; de esta manera se evitan confusiones por parte del usuario que ingresa las especificaciones del proyecto. A partir de los datos ingresados por el usuario la herramienta de optimización establece las actividades que conformarán el presupuesto de obra; además, elabora las memorias de cálculo de cada ítem de manera automática por medio de funciones integradas de Microsoft Excel como condicionales y ecuaciones matemáticas simples que facilitan la cubicación. En la **Tabla 12** se presenta la cubicación del concreto asfáltico, el cual se determinó multiplicando el ancho de vía, el largo y el espesor de la capa. Este cálculo produce un error mínimo al no tener en cuenta la curvatura del alineamiento horizontal, por lo que se estableció un factor de corrección del 0.3 %.

Tabla 12.

Memoria de cálculo de concreto asfáltico.

CAPÍTULO	1	Estructura de pavimento						
SUBITEM	1.11	Suministro, transporte y colocación de concreto asfáltico MDC, Incluye todos los elementos necesarios para su correcta colocación						
TIPO	ELEMENTO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	Factor de Corrección	UNIDAD	SUBTOTAL	
Tramo 1	Pavimento	2160,00	7,00	0,15	0,30%	m ³	2.274,80	
Der. e lzq.	Berma	2160,00	0,60	0,15	0,30%	m ³	194,98	
						1.11	TOTAL	2.274,80

Nota. Elaboración propia.

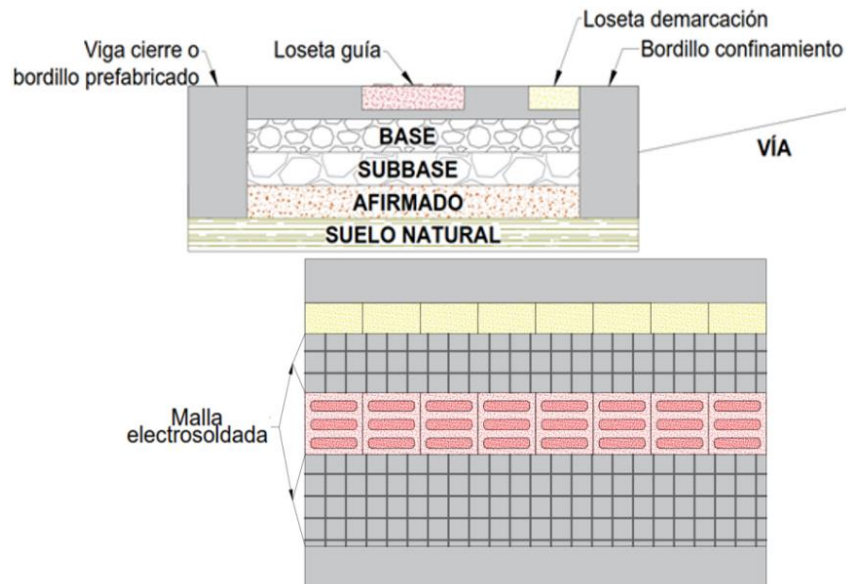
En general, las memorias de cálculo elaboradas para el pavimento flexible no presentaron mayor complejidad en su elaboración, dado que la mayoría de los ítems resultan del producto entre el área de conformación y el espesor de cada capa, siendo la memoria del acero la más compleja. Es importante resaltar que aunque la capa de rodadura de este tipo de pavimentos no requiere de acero, sus elementos complementarios, como lo son los bordillos de confinamiento vial, las cunetas, los andenes y las rampas peatonales si lo necesitan, por lo que resulta siendo un ítem fundamental en el presupuesto. En la **Tabla 13** se muestra la memoria de cálculo del acero para este tipo de pavimentos.

Tabla 13.*Memoria de cálculo de acero de pavimento flexible.*

CAPÍTULO	Estructura de pavimento							
SUBITEM	Acero de refuerzo fy 420MPA							
TIPO	ELEMENTO	LONGITUD (m)	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)	UNIDAD	SUBTOTAL
Der. e Izq.	Bordillo ganchos	1,20	2	10800,00	12960,00	0,25	kg	3.240,00
Der. e Izq.	Bordillo refuerzo longit.	4320,00	2	1,00	4320,00	0,25	kg	1.080,00
Der. e Izq.	Cuneta ref. transv.	0,80	2	14400,00	11520,00	0,25	kg	2.880,00
Der. e Izq.	Cuneta ref. longit.	4320,00	2	2,00	8640,00	0,25	kg	2.160,00
		LONGITUD (m)	ANCHO (m)			PESO (kg/m²)		
Tramo 1	Malla electros. Andén	4320,00	0,65			1,33	kg	3.744,00
Tramo 1	Malla electros. rampa andén	1,50	0,60			1,33	kg	1,20
		LONGITUD (m)	BARRA N°	CANT. ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL (m)	PESO (kg/m)		
Tramo 1	Viga cierre ref. estribos	0,40	3	7200,00	2880,00	0,56	kg	1.612,80
Tramo 1	Viga cierre ref. longit.	4320,00	2	2,00	8640,00	0,25	kg	2.160,00
							1.13	TOTAL
								16.878,00

Nota. Elaboración propia.

En la **Figura 8** se ilustra la distribución del acero de refuerzo con malla electrosoldada para los andenes en los pavimentos flexibles.

Figura 8.*Detalle de acero de refuerzo en andén.**Nota.* Elaboración propia.

La automatización de las memorias de cálculo permitió simplificar el proceso de cálculo de cantidades, proporcionando un mayor rendimiento en el proceso de cubicación, dado que se reducen tiempos en la elaboración de cálculos matemáticos e ingreso de ecuaciones a Microsoft Excel. Luego de determinar todas las cantidades de obra, se realizaron los APU's, los cuales cuentan con la misma estructura del pavimento rígido, constando de cuatro ítems:

- i. Materiales en obra.
- ii. Equipos y herramientas.
- iii. Transportes.
- iv. Mano de obra.

En la **Tabla 14**, se muestra el APU del concreto asfáltico, las celdas en color gris representan datos que pueden ser modificados por el usuario, mientras que las celdas blancas presentan ecuaciones matemáticas automatizadas en la herramienta de optimización. Si bien, todos los APU's realizados se encuentran automatizados de acuerdo con los datos de entrada, el usuario puede modificar los componentes de cada uno según sus preferencias o conforme a los "APU's Regionalizados de Referencia" del INVÍAS.

Tabla 14.

Análisis de precios unitarios de concreto asfáltico.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CAPITULO:	Estructura de pavimento			Municipio:	Apartadó	
ACTIVIDAD:	Suministro, transporte y colocación de concreto asfáltico MDC, incluye todos los elementos necesarios para su correcta colocación			Departamento:	Antioquia	
ITEM:	1.11			UNIDAD	m ³	
I. MATERIALES EN OBRA						
Descripción		Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor Unitario	
Mezcla densa en caliente		m ³	\$ 721.300	1,25	\$901.625,00	
-		-	-		-	
					Sub-Total	\$901.625,00
II. EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
Descripción		Unidad	Tarifa/Unidad	Rendimiento	Valor Unitario	
Herramientas menores 5%M.O				5%	\$ 331	
Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton		h	\$ 152.602	15	\$ 10.173	
Compactador de rodillo potencia: 99 hp, peso: 8 toneladas		h	\$ 125.344	15	\$ 8.356	
Terminadora de asfalto (Finisher), potencia en el volante 174 HP, R=20M3/H, velocidad de		h	\$ 239.641	15	\$ 15.976	
					Sub-Total	\$ 34.837
III. TRANSPORTES						
Materiales		Vol-Peso	Distancia	m ³ /km	Tarifa	Valor Unitario
Transporte de mezcla en caliente		1,25	1	1,25	\$1.945,00	\$2.431,25
					Sub-Total	\$2.431,25
IV. MANO DE OBRA						
Trabajador o Cuadrilla		Cantidad	Jornal/und*	Jornal total	Rendimiento	Valor Unitario
Oficial de construccion		1	\$95.915,00	\$95.915,00	120	\$799
Ayudante de construccion		8	\$65.506,00	\$524.048,00	120	\$4.367
Rastrillero		2	\$87.668,00	\$175.336,00	120	\$1.461
					Sub-Total	\$6.627
*Incluye prestaciones de ley						
Total Costos Directos				ITEM:	1.11	\$ 945.521

Nota. Elaboración propia.

La automatización de APU's permitió estandarizar los formatos de estos y al mismo tiempo simplificar su proceso de elaboración, el cual quedó reducido a una simple verificación de rendimientos de sus componentes. Por otro lado, también se proporciona consistencia en los precios de los insumos, equipos, transportes y salarios en todos los APU's. De esta manera, se elimina el proceso repetitivo de creación de precios unitarios.

Una vez establecidas las cantidades y precios unitarios de cada actividad, se obtuvieron los costos directos del presupuesto. Para determinar los costos indirectos del proyecto, se desarrollaron plantillas base para el AIU, el PMT y el presupuesto ambiental. En el caso del AIU se contemplaron costos de personal técnico, personal operativo, gastos operacionales, control de calidad, pólizas e impuestos, es decir, los mismos ítems del pavimento rígido, en la **Tabla 15** se muestra los costos por pólizas del AIU.

Tabla 15.

Pólizas del AIU.

8.1	PÓLIZAS	% ASEGURADO	BASE ASEGURADA	% COSTO POLIZA	V. PARCIAL	\$	15.674.476,18
8.1.1	Cumplimiento	0,1	\$ 3.851.222.648	0,040%	\$ 1.540.489,06		
8.1.2	Estabilidad y Calidad de la Obras	0,1	\$ 3.851.222.648	0,100%	\$ 3.851.222,65		
8.1.3	Salarios y Prestaciones	0,1	\$ 3.851.222.648	0,067%	\$ 2.580.319,17		
8.1.4	Buen Manejo y Correcta Inversión del Anticipo	1	\$ 3.851.222.648	0,110%	\$ 4.236.344,91		
8.1.5	DECRETO 1082 SMMLV Responsabilidad Civil	5% Total de contrato	\$ 3.851.222.648	0,090%	\$ 3.466.100,38		

Nota. Elaboración propia.

En el caso del PMT, corresponde al mismo mostrado en la **Tabla 7**. El presupuesto ambiental, dado por un PAGA o un PMA según el tipo de proyecto, está conformado por los mismos componentes que el presentado en el pavimento rígido en la **Tabla 8** donde se muestran las actividades constructivas del presupuesto ambiental propuesto.

Finalmente, en la **Tabla 16** se presenta una comparación entre las cantidades calculas con la herramienta elaborada y las cantidades formuladas en un proyecto de pavimento flexible del escenario de prácticas. En la comparación se pudo apreciar que en este tipo de pavimentos las cantidades discrepan en menor medida con relación a las del pavimento rígido, dado que, la cubicación de las capas que conforman la carpeta asfáltica son de fácil cálculo por lo que las variaciones se presentan producto de imprevistos ocurridos durante la ejecución, como lo son cambios en las abscisas de inicio y fin.

Tabla 16.*Comparación cantidades calculadas y ejecutadas pavimento flexible.*

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad herramienta	Cantidad formulada
1	Estructura de pavimento			
1.1	Excavación en material común de la explanación y canales. No incluye transporte ni disposición final del material sobrante.	m ³	7,505.00	6,498.00
1.2	Transporte de material proveniente de la excavación de la explanación, canales y prestamos para distancias mayores de mil metros (1000 M) medido a partir de 100 metros (100 M), que es la distancia libre. Material compacto (Incluye 30% de expansión).	m ³ /km	146,348.00	126,711.00
1.3	Conformación de la calzada existente.	m ²	9,396.00	9,387.90
1.4	Suministro e instalación de Geotextil no tejido con resistencia a la tensión 3000 NT. Incluye todos los elementos necesarios para su instalación.	m ²	18,792.00	18,775.80
1.5	Suministro, extendida y compactación de material de afirmado o mejoramiento	m ³	3,969.00	3,187.00
1.6	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Sub-Base Granular Clase C (incluye transporte)	m ³	1,880.00	1,877.58
1.7	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Base Granular Clase C (incluye transporte)	m ³	1,410.00	1,408.19
1.8	Suministro, transporte y colocación de Imprimación con asfalto líquido MC-60. Incluye todos los elementos necesarios para su correcta colocación.	m ²	9,396.00	9,387.90
1.9	Suministro, transporte y colocación de riego de liga. Incluye todos los elementos necesarios para su correcta colocación.	m ²	9,396.00	9,387.90
1.11	Suministro, transporte y colocación de concreto asfáltico MDC, Incluye todos los elementos necesarios para su correcta colocación	m ³	1,260.00	1,255.48
1.12	Suministro e instalación de bordillo in-situ de 21MPa	m	2,320.00	2,318.00
1.13	Acero de refuerzo fy 420MPa	kg	9,065.00	8,845.00

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con lo mostrado en la **Tabla 16**, se puede afirmar que en general los ítems de movimientos de tierra presentaron los mayores contrastes, por un lado, la excavación calculada fue de 7.505,00 m³ y la formulada de 6.498,00 m³, por lo que la diferencia es de 1007,00 m³. En el caso del material de afirmado el calculado fue de 3.969,00 m³ y el formulado de 3.187,00 m³, presentando una diferencia de 782,00 m³. Estas discrepancias se deben principalmente a que en la cantidad formulada no se tuvieron en cuenta los volúmenes de excavaciones y llenos debidos al diseño geométrico de vía. Por otra parte, los transportes se ven afectados por las excavaciones, en el calculado se obtuvo 146.348,00 m³/km y en el formulado 126.711,00 m³/km, presentando una diferencia de 19.637,00 m³/km.

Por otra parte, es importante mencionar que antes de la implementación de la herramienta el personal tardaba aproximadamente una jornada laboral (8 horas) en la elaboración de un presupuesto, mientras que con la herramienta de optimización se tardan una hora, por lo que la implementación de esta permite reducir hasta 8 veces la dedicación en tiempo del personal para la realización de dicho proceso.

5 Conclusiones

La implementación de la herramienta de optimización desarrollada permitió simplificar el proceso de cálculo de cantidades y presupuestos de obra en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S, facilitando la formulación de cualquier tipo de proyecto de pavimento rígido o flexible, lo cual redujo hasta ocho veces los tiempos de entrega de presupuestos e incrementó la productividad de los trabajadores de la empresa, debido a que la herramienta realiza los APU que apliquen al proyecto de manera más eficiente brindando al personal más disponibilidad de tiempo para el desarrollo de tareas menos repetitivas como lo son la verificación de precios, cantidades y rendimientos de ejecución.

Los manuales del INVÍAS representan una guía indispensable en la elaboración de construcciones de pavimentos rígidos y flexibles, sin embargo, muchos de los elementos empleados en la ejecución de una obra son intrínsecos del método constructivo empleado por el ejecutor, es por esto que para elaboración de este trabajo se complementó los datos de entrada de la herramienta con los métodos constructivos usados por Grupo Tecmedic S.A.S.

El desarrollo de la herramienta de optimización permitió identificar y corregir errores de cálculo de cantidades en los movimientos de tierra y transportes, asociados a la subestimación de excavaciones y llenos debidos al diseño geométrico de la vía. Asimismo, en el cálculo del acero de refuerzo se incluyó la cuantificación de cantidades de elementos constructivos, tales como los ganchos de dovelas en el pavimento rígido. De este modo, se elaboró un cálculo de cantidades más exacto, que contempla todas las variables implicadas en obra y que permite obtener presupuestos más ajustados a lo ejecutar en campo, evitando subestimación de cantidades que impliquen pérdidas económicas o desperdicios.

La aplicación de Microsoft Excel para la elaboración de la herramienta de optimización permitió obtener cálculos más precisos dado que todos los datos se encuentran interrelacionados en las diferentes hojas de cálculo, minimizando los errores de cálculo humanos y garantizando la consistencia de los componentes del presupuesto en los diferentes ítems. De esta manera, se obtuvo una herramienta que arroja resultados más precisos y consistentes, con sólo introducir las especificaciones de un proyecto.

La automatización de este proceso facilitó el análisis de distintos escenarios para un mismo proyecto, permitiendo al formulador modelar diferentes especificaciones con mayor agilidad y al

mismo tiempo conocer los cambios en el presupuesto ocasionados por la adición o modificación de las actividades proyectadas; facilitando finalmente la selección de la alternativa más viable. Además, también permitió eliminar el proceso repetitivo de creación de análisis de precios unitarios. Permitiendo una estandarización de los formatos empleados en el presupuesto.

Referencias

- Barboza, R., & Piminchumo, B. (2014). *Los presupuestos de obra y su incidencia en los costos de producción de la empresa Artecon Perú S.A.C.* Trujillo: Antenor Orrego.
- CAMACOL. (8 de Febrero de 2023). *PIB del sector edificador crecerá 3.5 veces más que el total de la economía en el 2022: Camacol.* Obtenido de Cámara Colombiana de la Construcción : <https://camacol.co/>
- CYPE Ingenieros, S.A. (8 de Febrero de 2023). *Generador de precios de la construcción Colombia.* Obtenido de Generador de precios: <http://www.colombia.generadordeprecios.info/>
- INVÍAS, I. N. (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.* Bogotá: MinTransporte.
- INVÍAS, I. N. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.* Bogotá: INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.
- Macchia, J. L. (2005). *Cómputos, costos y presupuestos.* Buenos Aires: Nobuko.
- Macchia, J. L. (2007). *Cómputos, costos y presupuestos 2da Edición.* Buenos Aires: Nobuko.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTO]. (13 de Enero de 2022). Gobierno nacional ha movilizado inversiones por \$3,3 billones para la construcción de vías en municipios PDET. *MinTransporte*, pág. 1.
- Ospina, G. (2016). *El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia.* Bogotá: Universidad de los Andes.
- Permanent International Association of Road Congresses [PIARC]. (2014). *Importancia de la conservación de carreteras.* París: PIARC.
- Rondón, H., & Reyes, F. (2022). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño.* Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Sepúlveda, M. (2006). *Guía práctica para la elaboración de Presupuestos.* Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Vidal, F. (7 de Febrero de 2023). *Cuál es la mejor opción para hacer Presupuestos de Obra.* Obtenido de Stel Order: <https://www.stelorder.com/>

Anexos

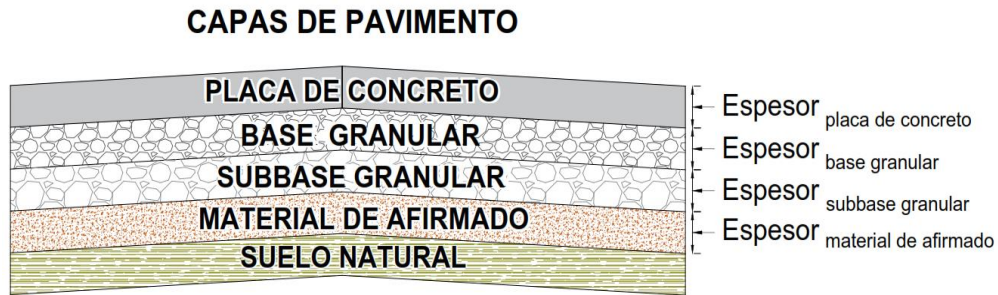
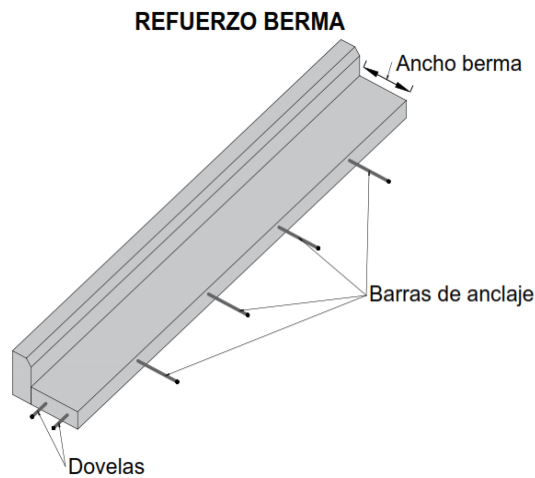
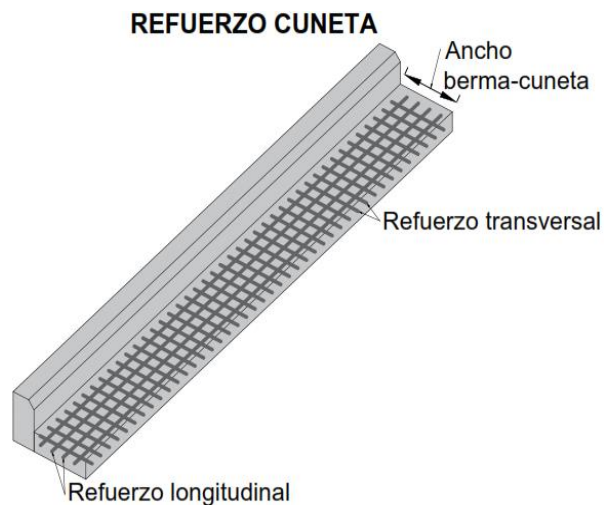
Anexo 1. Manual guía de herramienta de optimización para pavimento rígido y flexible.

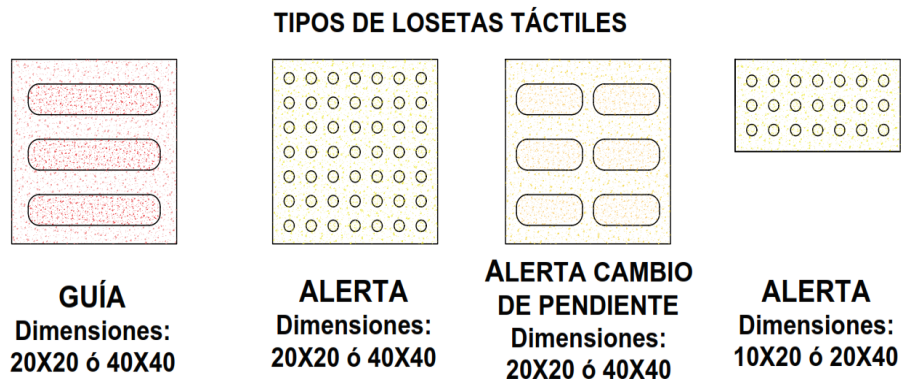
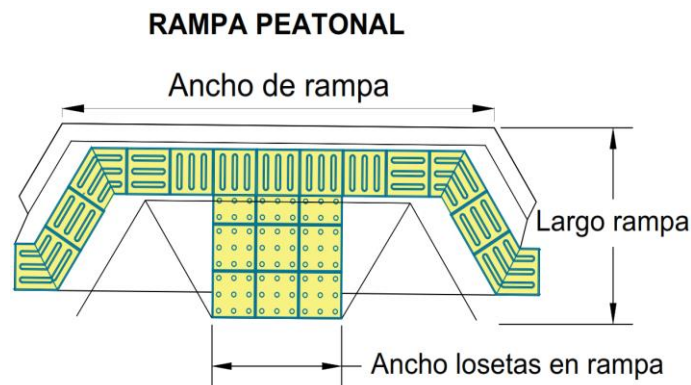
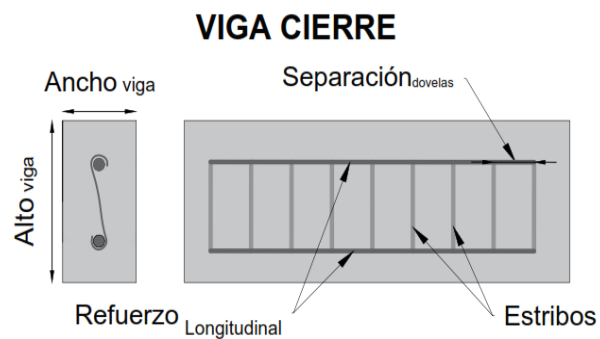
MANUAL GUÍA

Consideraciones iniciales:

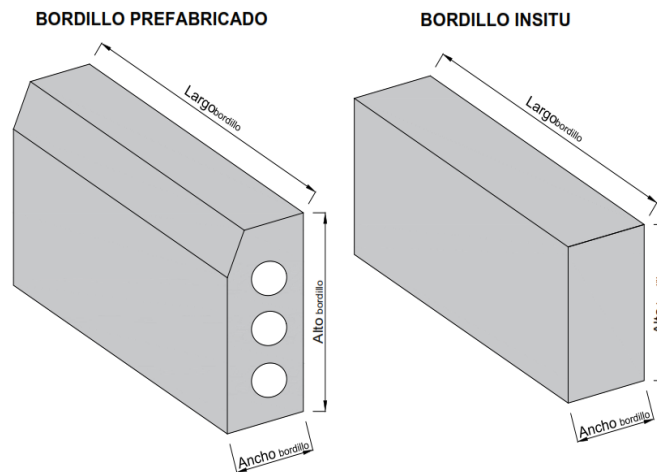
1. Los datos de entrada se encuentran conformados por dos tipos
 - 1.1. Datos generales del proyecto.
 - 1.2. Datos específicos del tramo.
2. celdas de la **columna B**, las sombreadas de color **azul** corresponden a datos **constantes**, mientras que las de color **gris** corresponden a celdas que contienen una **lista desplegable** en la que deberá seleccionar el dato de entrada que aplica.
3. Cada variable de entrada especifica la **unidad** en la que deberá ingresarse el dato de entrada.
4. celdas se encuentran en color **gris** dado que todas deben ser modificadas. Los datos de entrada pueden ser literales, numéricos decimales, numéricos enteros y listas desplegables.
5. del diámetro de la varilla, el cual se ingresa con el **número de barra**, en la siguiente tabla se muestran los diámetros en pulgadas, en milímetros, el número de barra asociado y el peso por metro.

Barra N°	Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
2	1/4	6,4	0,249
3	3/8	9,5	0,559
4	1/2	12,7	0,994
5	5/8	15,9	1,554
6	3/4	19,1	2,237
7	7/8	22,2	3,045
8	1	25,4	3,978

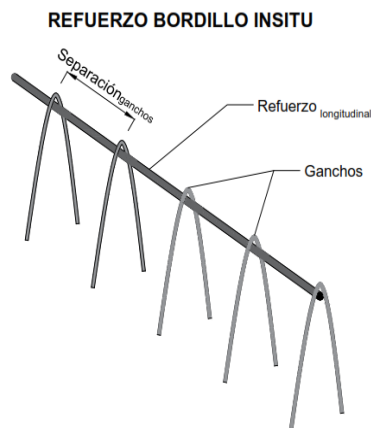
Anexo 2. Estructura de pavimento rígido.**Anexo 3. Refuerzo de berma en pavimento rígido con dovelas y barras de anclaje.****Anexo 4. Refuerzo de cuneta en pavimento rígido o flexible con barras longitudinales y transversales.**

Anexo 5. Tipos de loseta táctiles en pavimentos rígido y flexible.**Anexo 6. Detalle rampa peatonal en pavimento rígido y flexible.****Anexo 7. Detalle viga cierre en andén para pavimento rígido y flexible.**

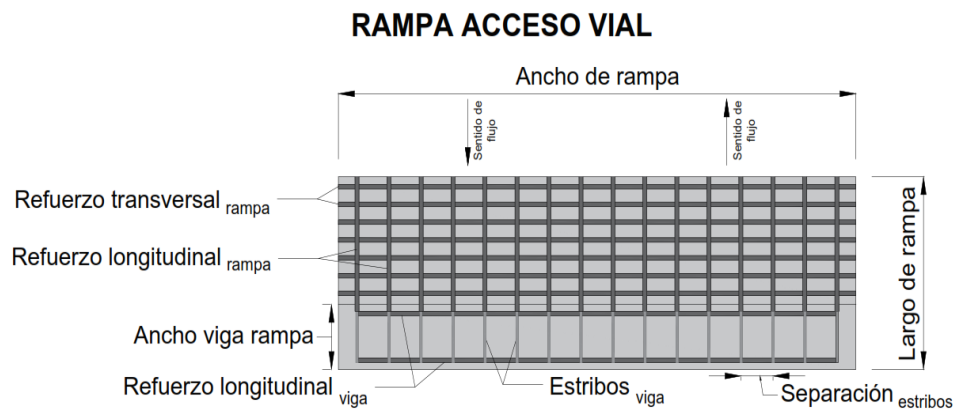
Anexo 8. Tipos de bordillo de confinamiento en pavimento rígido y flexible.



Anexo 9. Refuerzo de bordillo insitu en pavimento rígido y flexible.



Anexo 10. Detalle de refuerzo de rampa en pavimento rígido y flexible.



Anexo 11. Estructura de pavimento flexible.