



**Automatización del cálculo de cantidades de obra a partir del diseño de estructuras
comunes de drenaje y protección en vías secundarias y terciarias.**

Juan David Rey Lopera

Asesor

Hernán Darío González Zapata, MSc. en Ingeniería Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín

2022

Cita	(Rey Lopera, 2022)
Referencia	Rey Lopera. (2022). <i>Automatización del cálculo de las cantidades de obra a partir del diseño de estructuras comunes de drenaje y protección en vías secundarias y terciarias.</i> (Pregrado). Universidad de Antioquia, Medellín.
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: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

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 está dedicado a todas esas personas que de alguna u otra forma han apoyado mi proceso de formación académica, a toda mi familia, mi novia, mis amigos, compañeros, profesores, etc., con una mención muy especial a mi madre y a mi hermana Carolina, quienes desde un principio me han brindado su apoyo incondicional y se han preocupado mucho por mi trayectoria universitaria, ellas han sido fundamentales en este recorrido y no hubiera podido llegar hasta aquí sin su ayuda, las amo. Gracias a mi novia y amigos por siempre alegrarse de todos mis logros, además de impulsarme en continuar yendo hacia adelante en búsqueda de nuevos objetivos, por darme apoyo en momentos difíciles y por recalcarme constantemente mis cualidades, es una bendición el hecho de tenerlos a mi lado a todos ustedes, muchas gracias.

Agradecimientos

Agradezco en primera instancia a la Universidad de Antioquia y sus maravillosos docentes que permitieron que me formara, no solo como profesional sino como una persona responsable y de carácter. Gracias a mi asesor y excelente maestro Hernán Darío González Zapata por apoyarme en todo este proceso. Mil gracias a la Gobernación de Antioquia por seleccionarme como uno de sus practicantes de excelencia y haber sido parte de ese gran conjunto de personas llenas de valores, a mi tutor Jorge Mauricio Morales Gómez y a toda la dirección de Desarrollo Físico de la Secretaría de Infraestructura Física, grandes profesionales llenos de conocimiento con vocación de enseñanza.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico	13
3 Metodología	18
3.1 Búsqueda y revisión de información	18
3.2 Exploración y observación de obras en campo	19
3.3 Procesamiento de la información	20
3.4 Operación de variables	21
3.5 Revisión de cálculos	22
4 Resultados	23
5 Conclusiones	32
Referencias	35

Lista de tablas

Tabla 1 Procesamiento de la información, alcantarillas de sección cuadrada box culvert de 1m x 1m	20
Tabla 2 Argumentos de entrada para cálculo de cantidades de obra - Tuberías para la conducción	22
Tabla 3 Parámetros de entrada - Cálculo de obras de protección	24
Tabla 4 Parámetros de entrada - Cálculo de obras de drenaje	24
Tabla 5 Cantidades de obra - construcción de un desagüe pluvial de cabezote con aletas	25
Tabla 6 Filtro de obra de interés por ubicación	29
Tabla 7 Cantidades de obra ejecutadas - obra de drenaje K25+040 Corredor vial La Usa - Caicedo	30

Lista de figuras

Figura 1	Planos estructura de drenaje - Poceta	15
Figura 2	Planos estructura de drenaje - Alcantarilla de muros y losas para llenos	15
Figura 3	Plano obra de protección - Muro de contención sobre pilotes	16
Figura 4	Plano obra de protección - Estribos para puentes sobre zapatas	16
Figura 5	Antes - Durante - Después - Muro de contención K18+630 Vía Anorí - El limón	19
Figura 6	Plano obra de drenaje - Alcantarilla de sección cuadrada box culvert	21
Figura 7	Menú inicial para el registro de recursos ejecutados en obra	28

Siglas, acrónimos y abreviaturas.

MSc	Máster en Ciencias
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías
IDE	Integrated Development Environment
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

La Gobernación de Antioquia, mediante su Secretaría de Infraestructura Física, se encarga de adelantar todos los procesos de contratación pública para el mejoramiento, mantenimiento, rehabilitación y construcción de vías secundarias y terciarias (Gobernación de Antioquia, 2022). Para esos procesos de construcción e intervención, son requeridas diferentes estructuras de drenaje y protección para carreteras, tales como cunetas, pocetas, tuberías, muros de contención, etc.

La secretaría cuenta con una cartilla de “Obras de drenaje y protección para carreteras” que contiene el diseño de las estructuras habitualmente implementadas para dar solución a temas hidráulicos y de estabilización, que influyen directamente en el desarrollo de un proyecto vial. Con la ayuda de dicha cartilla, se determinan las cantidades de obra requeridas para la construcción de una estructura, proceso que puede ser tedioso en ocasiones. Es por esta razón que se construyó un formato que permite determinar esas cantidades de obra de forma eficiente y casi automática, agilizando las etapas precontractuales y contractuales de los proyectos. De manera similar se desarrolló otro formato, el cual, permite llevar el registro de las cantidades de obra ejecutadas (actas de pago) de un proyecto, brindando la posibilidad de tener a disposición los comprobantes de cantidades de obra y recursos ejecutados, acta tras acta, para cada obra dentro de cada contrato, cuando alguna entidad jurídica así lo requiera. La elaboración de los formatos, a su vez, permitió una revisión continua de la cartilla ya mencionada, fueron recalculadas magnitudes allí descritas y se hicieron algunas observaciones.

Palabras clave: contratación pública, vías, obras de drenaje, obras de protección, cantidades de obra.

Abstract

The Government of Antioquia, through its Secretariat of Physical Infrastructure, is responsible for advancing all public procurement processes for the improvement, maintenance, rehabilitation, and construction of secondary and tertiary roads (Gobernación de Antioquia, 2022). For these construction and intervention processes, different drainage and protection structures for roads are required, such as ditches, pipes, retaining walls, etc.

The secretariat has a booklet of "Drainage and protection structures for roads" that contains the design of the construction sites usually implemented to solve hydraulic and stabilization issues, which directly influence the development of a road project. With the help of this booklet, the amounts of building site required for constructing a structure are determined, a process that can be tedious at times. It is for this reason that a format was made allowing determining these amounts of construction site efficiently and automatically, streamlining the pre-contractual and contractual stages of the projects. In an equivalent way, another format was developed, which helps to keep track of the quantities of construction site executed (payment minutes) of a project, providing the possibility of having at the disposal the proofs of quantities of resources executed, minute after minute, for each building site within each contract, when some legal entity so requires. In turn, elaboration of the formats made possible a continuous revision of the booklet, the quantities described there were recalculated, and some observations were made.

Keywords: public procurement, roads, drainage and protection construction sites, quantities of building site.

Introducción

Desde la Gobernación de Antioquia, mediante su Secretaría de Infraestructura Física, se adelantan todos los procesos de contratación pública, desde licitaciones hasta mínimas cuantías para el mejoramiento, mantenimiento, rehabilitación y construcción de vías secundarias y terciarias, esto, con el objetivo de enriquecer la calidad de vida de los ciudadanos, brindando una adecuada conexión entre los municipios y sus alrededores a lo largo de todo el departamento de Antioquia, posibilitando el aumento de la productividad regional (Gobernación de Antioquia, 2022). Territorios caracterizados por topografías fuertes o pronunciadas como lo es la zona andina colombiana, representan constantes desafíos ingenieriles para dar solución a las necesidades de transporte que presentan las personas que allí habitan.

Para facilitar los procesos de intervención, rehabilitación y construcción de vías secundarias y terciarias, la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia ha venido implementando la cartilla de “Obras de Drenaje y Protección para Carreteras”. Esta última, se trata de un manual cuyo principal objetivo es facilitar la formulación y estructuración de soluciones técnicas para el mejoramiento de las vías rurales, esto, mediante el manejo de tipologías de obras eficientes técnica y económicamente. Dicha cartilla es una herramienta para tener en cuenta para las condiciones y la geografía de Colombia cuando se hace frente a la construcción y mejoramiento de la red vial.

En otro orden de ideas, a medida que transcurre el tiempo, las personas buscan desarrollar procesos cada vez más automáticos y que requieran mínima participación e inversión de tiempo en sus distintas actividades a desarrollar, sistemas inteligentes eficientes que permitan brindar soluciones efectivas a diferentes problemáticas. Es por esta razón que se elaboró un sistema que permite determinar de manera fácil y eficaz las cantidades de obra requeridas en las diferentes obras viales presentes en los proyectos adelantados desde la Secretaría de Desarrollo Físico de la Gobernación de Antioquia. Para dicho proceso fue necesario el continuo estudio y revisión de la cartilla de “Obras de Drenaje y Protección” implementada habitualmente en los contratos de obra, además de la programación de cada una de las obras allí contenidas, en términos de sus cantidades de obra. De manera similar, fue elaborado un formato muy práctico que facilita recopilar las cantidades de obra ejecutadas, a través de las actas de pago de los contratos mediante las que se

van abonando recursos progresivamente, las cuales, son remitidas por las diferentes interventoras durante el desarrollo de la obra. Este formato se elaboró con el fin de verificar, en la liquidación del contrato, las cantidades ejecutadas a lo largo del proyecto, además de tener a disposición los comprobantes de cantidades de obra, acta por acta, cuando la contraloría general así lo requiera.

Ahora bien, el proceso de elaboración de los formatos, sobre todo el formato para el cálculo de cantidades de obra permitió identificar algunos errores y posibles mejoras en la cartilla guía ya mencionada, la cual, fue clave del proceso, ya que, contiene todos los datos de partida para el desarrollo del formato, que fue desarrollado en la herramienta de Microsoft Office Excel 365.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Facilitar el cálculo de las cantidades de obra para estructuras de drenaje y protección frecuentemente implementadas en el mejoramiento de la red vial secundaria y terciaria a cargo del departamento de Antioquia.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar un sistema eficiente que permita el cálculo de las cantidades de obra en estructuras comúnmente implementadas de drenaje y protección en carreteras secundarias y terciarias.

- Desarrollar un formato digital adecuado para el registro progresivo de la ejecución de actividades de un proyecto de carretera.

- Identificar posibles errores en la última versión de la Cartilla de obras de drenaje y protección implementada frecuentemente en proyectos de carretera.

- Analizar el proceso de intervención de una vía secundaria o terciaria, ya sea para su construcción, mantenimiento o rehabilitación, esto, con ayuda de la “Cartilla de obras de drenaje y protección para carreteras”.

2 Marco teórico

Las carreteras y toda la infraestructura vial representan uno de los activos más importantes en una nación, el activo de transporte. Este, proporciona una base vital para el apropiado y eficiente funcionamiento de las múltiples economías en un país, generando a su vez, numerosos beneficios económicos y sociales. De acuerdo con lo anterior, las vías tienen un notorio impacto en la economía, seguridad, medio ambiente y el bienestar social. Sin embargo, para que dichas estructuras conserven una adecuada serviciabilidad a lo largo del tiempo, requieren mantenimiento continuo en muchos de los elementos que las conforman, tales como, carpeta asfáltica, puentes, señalización, drenajes, obras de protección, etc., lo cual, solicita importantes cantidades de recursos, que generalmente y en su mayoría, son públicos (PIARC, 2014).

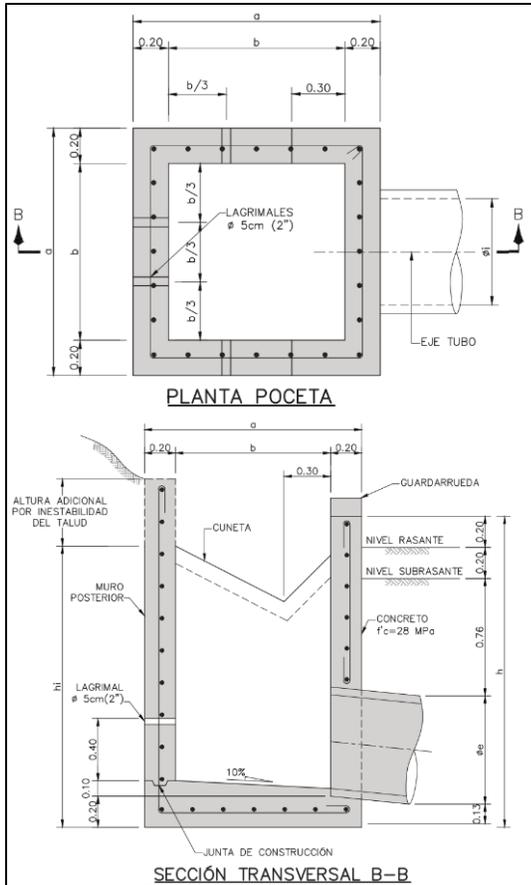
El desarrollo de un proyecto vial va de la mano con la estabilidad de las laderas o taludes, ya que, todos los desarrollos viales requieren una previa estabilidad del lugar por el cual se proyecta la construcción de una carretera, esto, bajo dos principios que son claves para el desarrollo de dichos proyectos, la seguridad y la economía (Abeykoon et al., 2018; Abeykoon et al., 2019; Baum y Godt, 2010; Petley, 2012; Gallage et al., 2020), buscando realizar diseños seguros y estables, que no requieran excesivo mantenimiento y que perduren con el paso del tiempo, diseños que bien pueden ser cortes de talud, llenos, terraplenes, vertederos, drenajes, etc. (Thar et al., 2021). Todo tipo de estructura debe brindar completa seguridad (factor asociado a la estabilidad) para poder satisfacer las intenciones con la que fue diseñada en primera instancia, sin embargo, eventos extremos de la naturaleza como lluvias torrenciales, períodos extensos de lluvias, actividad geológica o sísmica, entre otros, pueden generar daños importantes en este tipo de obras (Montoya et al., 2016). Además, la actividad humana también puede incidir en gran medida para desencadenar eventos que pueden llegar a ser catastróficos como los deslizamientos, generando colapso o inhabilitación de vías, derrumbes sobre zonas residenciales, etc., exponiendo a su vez la vida de muchas personas (Saboya et al., 2006).

Países como Colombia, caracterizados por sus extensas cadenas montañosas, generalmente presentan dificultades en cuanto a la estabilidad de las laderas. Para el desarrollo de cualquier tipo de vía en estos contextos no hay que pasar por alto la estabilidad del suelo y los factores que influyen para que pueda permanecer estable a lo largo del tiempo. Los deslizamientos son una de las causas más comunes de intervención de una vía y muchas veces es motivo de la generación de prórrogas en los contratos de carretera vigentes, generando postergación en la ejecución de muchas de las obras que adelanta la Gobernación de Antioquia. Además, la precipitación y su intensidad se encuentran estrechamente relacionados con los deslizamientos, así como lo confirman Gan y Zhang (2020), Deng et al., (2021), Thar et al (2021) y otros estudios más, por lo que se hace muy relevante la construcción de obras de drenaje y protección en las vías, aportando eficiencia y seguridad en el transporte de bienes y movilización de los ciudadanos.

Las obras de drenaje, por su parte, están diseñadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado (INVÍAS, 2008). La cartilla ya mencionada (“Obras de Drenaje y Protección en Carreteras”) describe e ilustra el diseño de muchas de las obras de drenaje comúnmente implementadas para proyectos carreteros, tales como desagües pluviales tipo pocetas (**Figura 1**), alcantarillas circulares, tuberías para la conducción de agua sin presión, alcantarillas de muros y losas (**Figura 2**), filtros para drenajes, etc., cuya eficiencia dependerá en gran medida de la calidad y vida útil de las carreteras (INVÍAS, 2009). La primera versión de esta cartilla se publicó en 1985 y se ha venido actualizando constantemente a medida que ha sido requerida su implementación en muchos otros proyectos, además de la experiencia ingenieril, de diseñadores e interventores que aportan a su frecuente evolución. Su contenido hace parte de los documentos técnicos que ha venido publicando la Gobernación de Antioquia desde los años 70, como un aporte del conocimiento en los campos de diseño e interventoría de obras de infraestructura (Jaramillo, 2019).

Figura 1

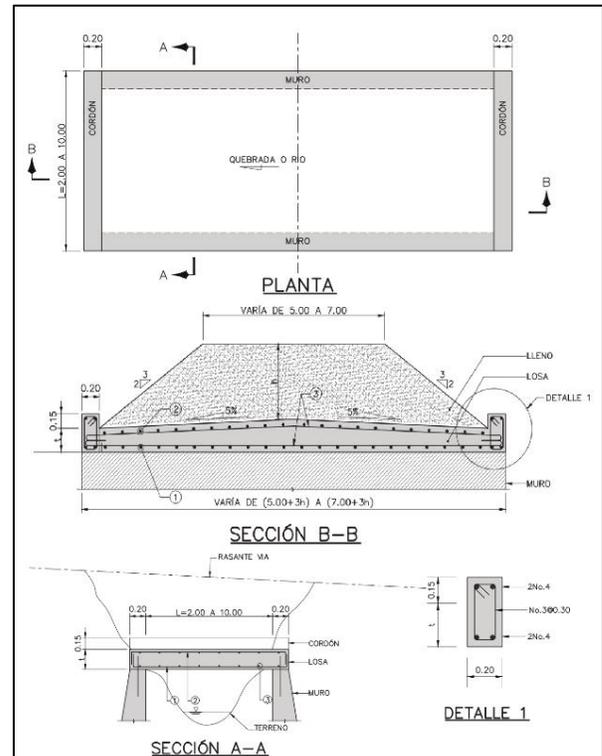
Planos estructura de drenaje - Poceta



Vista en planta y sección transversal B-B. Fuente. (Jaramillo, 2019).

Figura 2

Planos estructura de drenaje - Alcantarilla de muros y losas para llenos



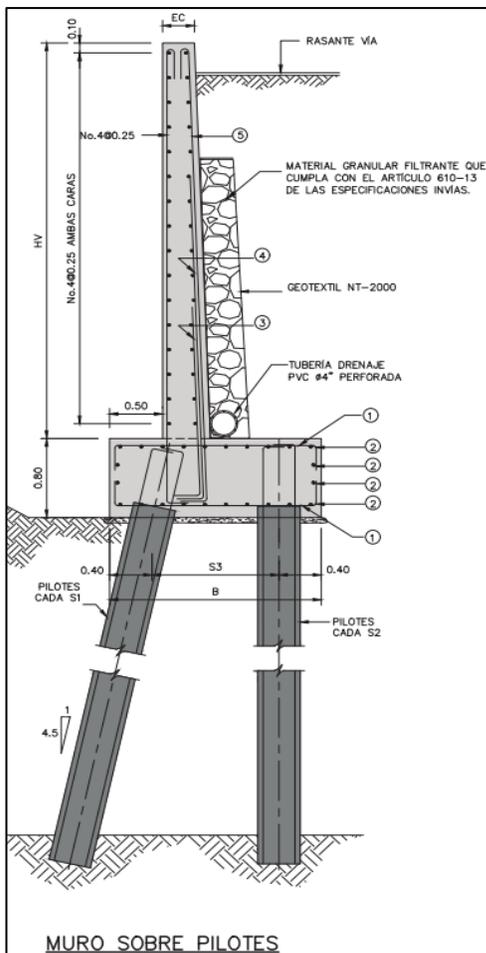
Vista en planta y sección transversal B-B, A-A. Fuente. (Jaramillo, 2019).

En adición a lo anterior, cabe aclarar que dicha cartilla fue acogida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y se encuentra en continuo proceso de corrección y mejoramiento. De manera similar, la cartilla enseña gran variedad de obras de protección que se reducen principalmente a una variedad de tipologías de muros de contención y estribos para puentes, tal como se ilustra en la **Figura 3** y **Figura 4** respectivamente.

Vale la pena destacar que desde la Gobernación de Antioquia se apoya la mediación de las vías secundarias y terciarias a lo largo de departamento, siendo las secundarias aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria. Las vías terciarias son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. (INVÍAS, 2016)

Figura 3

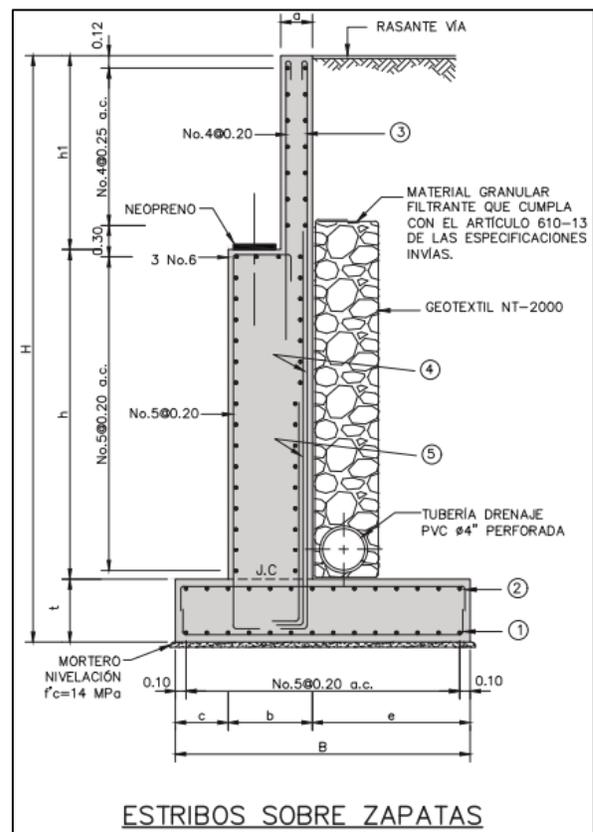
Plano obra de protección - Muro de contención sobre pilotes



Fuente. (Jaramillo, 2019).

Figura 4

Plano obra de protección - Estribos para puentes sobre zapatas



Fuente. (Jaramillo, 2019).

Tal y como se mencionó anteriormente, el contenido de la cartilla de “Obras de Drenaje y Protección” comprende las estructuras más usuales en las obras civiles en vías secundarias y terciarias, las cuales, por su alcance y ubicación, requieren de diseños básicos ya probados antes y evaluados durante más de 30 años. En consecuencia, en contextos con especiales condiciones geológicas e hidráulicas no aplican las soluciones propuestas en la cartilla, ya que priman los estudios previos y especializados para garantizar calidad, seguridad y durabilidad de las obras (Jaramillo, 2019). Se plantea que, con el desarrollo e intervención en muchas de las vías, tanto nacionales como departamentales, la cartilla se mantenga en constante proceso de actualización y se adicionen nuevas obras, que, año tras año, se convierten en soluciones comunes aplicadas a proyectos de carreteras.

3 Metodología

3.1 Búsqueda y revisión de información.

Esta fase fue fundamental en el proceso de desarrollo de la automatización para el cálculo de las cantidades de obra. Para dicho proceso, fue necesaria, en primer lugar, una revisión completa de la “Cartilla de Obras de Drenaje y Protección para Carreteras”, la cual, contempla los diseños de las soluciones estructurales típicamente implementadas por parte del departamento de Antioquia en el mantenimiento, construcción o rehabilitación de las vías secundarias y terciarias. Lo anterior, se hizo a su vez, con el objetivo de identificar y familiarizarse con las obras ya mencionadas para poder agilizar con el proceso de elaboración de la herramienta de cálculo de cantidades de obra. De manera similar, fue necesaria la revisión de actas mediante las cuales se sustentan los pagos llevados a cabo en la ejecución de un proyecto, esto con el fin de afianzar con todos los conceptos relacionados en las fases precontractuales y contractuales del proyecto, además, facilitar la construcción del formato que permite llevar el registro de los recursos invertidos con el pasar del tiempo en obras realizadas.

La cartilla, se encuentra en estado permanente de actualización, donde se corrigen posibles errores, se realizan mejorías en los diseños buscando resultados más eficientes y un balance adecuado entre sus rendimientos y costos, todo lo anterior, con base a la experiencia adquirida en los múltiples proyectos ya desarrollados por parte de la Gobernación de Antioquia. La revisión de la cartilla fue un paso trascendental para familiarizarse con las obras de drenaje y protección usuales que no requieren diseños específicos más allá de los descritos en la misma cartilla, además, debe ser bien estudiada ya que representó el punto de partida para el desarrollo del formato mediante el cual fue posible automatizar en la mayor medida posible el cálculo de las cantidades de obra de las estructuras contenidas en la cartilla referenciada.

3.2 Exploración y observación de obras en campo

Se realizaron algunas salidas de campo hacia obras en ejecución a lo largo del departamento de Antioquia con el objetivo de identificar posibles nuevos requerimientos en los proyectos adelantados, observar el estado y el proceso de construcción de las obras que se estaban ejecutando, afianzar con los conocimientos previos en cuanto a los diseños de estructuras de drenaje y protección mediante el acercamiento directo a las obras, se realizaron algunos informes de campo, se revisó congruencia entre los planos y lo ejecutado en obra, etc. Esta fase fue muy relevante en el aspecto de las experiencias en obra y la familiarización con las obras de drenaje y protección que fueron programadas en el formato de cálculo de cantidades de obra. En la **Figura 5** se puede observar el proceso constructivo de un muro de contención (antes, durante y después) en uno de los proyectos visitados, este se trata de la “Ampliación, rectificación y pavimentación de la vía Anorí – El Limón, en la subregión Nordeste del departamento de Antioquia”:

Figura 5

Antes - Durante - Después - Muro de contención K18+630 Vía Anorí - El limón



Fotografías facilitadas por el consorcio vial Anorí – El Limón, subregión Nordeste del departamento de Antioquia. Propiedad de la Gobernación de Antioquia. Fuente. Gobernación de Antioquia. (2022)

3.3 Procesamiento de la información

Para procesar la información se procedió de la siguiente manera:

1. Observación, verificación y cálculo de las cantidades de obra de los diseños presentes en la cartilla “Obras de drenaje y protección para carreteras”. En la **Tabla 1** se puede observar un ejemplo del procesamiento de la información para una alcantarilla de sección cuadrada box culvert, cuyo plano se ilustra en la **Figura 6**.

Tabla 1

Procesamiento de la información, alcantarillas de sección cuadrada box culvert de 1m x1m

ALCANTARILLAS DE 1.00 m x 1.00 m										
ALTURA DEL LLENO h (m)	ESPESOR LOSAS			REFUERZO①	REFUERZO②	REFUERZO③	REFUERZO④	REFUERZO⑤	CANTIDADES DE OBRA	
	t	ti	tj						CONCRETO m3/ml	ACERO kg/ml
0.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
1.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
2.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
3.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
4.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
5.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
6.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
7.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87
8.0	0.30	0.30	0.30	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.16	No.3Ø0.18	56 No.3Ø0.18	1,56	87

CANTIDADES DE OBRA				
CONCRETO (m3/ml)	ACERO CARTILLA (kg/ml)	ACERO (kg/ml)	EXCAVACION (m3/ml)	LLENO (m3/ml)
1,56	87	89,18	2,56	0,00
1,56	87	89,18	4,16	1,60
1,56	87	89,18	5,76	3,20
1,56	87	89,18	7,36	4,80
1,56	87	89,18	8,96	6,40
1,56	87	89,18	10,56	8,00
1,56	87	89,18	12,16	9,60
1,56	87	89,18	13,76	11,20
1,56	87	89,18	15,36	12,80

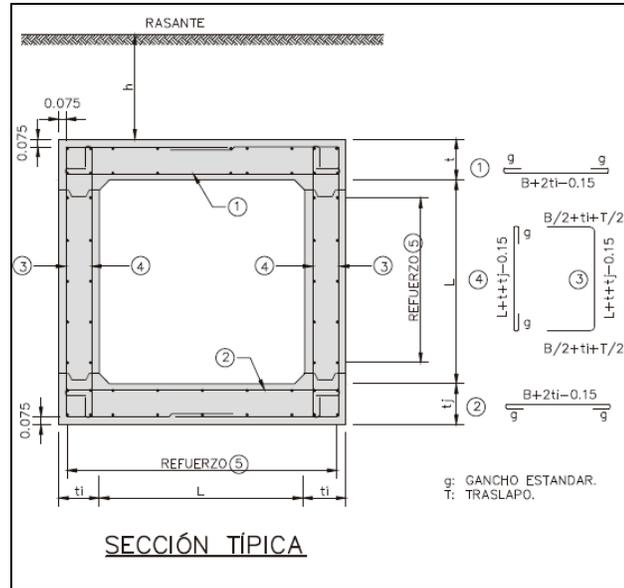
ANCHO DE VÍA (m)	8
Sección de la alcantarilla (m*m)	1.00 m * 1.00 m

Concreto (m3)	Acero (kg)	Excavación (m3)	Lleno (m3)
12,48	696,00	20,48	0
12,48	696,00	33,28	12,8
12,48	696,00	46,08	25,6
12,48	696,00	58,88	38,4
12,48	696,00	71,68	51,2
12,48	696,00	84,48	64
12,48	696,00	97,28	76,8
12,48	696,00	110,08	89,6
12,48	696,00	122,88	102,4

Cálculo de cantidades de obra para una alcantarilla de sección cuadrada box culvert de dimensiones 1m x 1m.

Figura 6

Plano obra de drenaje - Alcantarilla de sección cuadrada box culvert



Fuente. (Jaramillo, 2019).

2. Análisis, seguimiento, observación y comprobación en campo de diseños hechos o en ejecución.
3. Revisión de contratos en ejecución y posibles eventualidades como adiciones, prórrogas y sus justificaciones, informes de seguimiento, informes técnicos, etc., relacionados con la fase de seguimiento y ejecución del proyecto.
4. Inspección de actas de pago de varios contratos en donde se justifican los recursos invertidos en el desarrollo del proyecto.

3.4 Operación de variables

Cálculo de cantidades de obra por medio de la introducción de parámetros geométricos mínimos para cada obra (**Tabla 2**) especificados en la cartilla guía de diseño de obras de drenaje y protección. Dicho cálculo de cantidades fue realizado a través del formato construido con ayuda de la herramienta Microsoft Office Excel 365.

4 Resultados

Tanto el formato para la automatización del cálculo de las cantidades de obra como la plantilla para llevar el control de las cantidades de material ejecutado fueron desarrollados con éxito, ambos, con la ayuda de la herramienta Microsoft Excel 365. En primer lugar, para el cálculo de las cantidades de obra, tal y como se mencionó anteriormente, luego de un proceso de revisión y recalcado de cantidades unitarias presentadas en la cartilla base, se calcularon las cantidades de obra complementarias adicionales (no presentadas en la cartilla guía) más representativas para las obras de drenaje y protección, principalmente, aquellas cantidades relacionadas con excavaciones y llenos, además, de cantidades de concreto y acero para estructuras complementarias a las obras ya mencionadas. Cabe destacar que para la elaboración de este formato se partió desde un archivo de Excel que contenía la información de la cartilla de manera digital. Por lo tanto, el paso previo al inicio del desarrollo de cualquier cálculo se resumió en ajustar dichas hojas y actualizar los datos presentes, referentes a la última versión del manual. Para el funcionamiento del formato, únicamente fueron requeridas fórmulas y funciones integradas de Excel, que, trabajando en conjunto posibilitan la determinación de las cantidades necesitadas.

Las hojas de cálculo (una hoja para el cálculo de cantidades de obras de drenaje y otra para el cálculo de las cantidades de obras de protección) funcionan de una manera muy intuitiva, constan, en su mayoría, de listas de datos despletables donde se selecciona el tipo de obra y los argumentos o parámetros mínimos requeridos para su desarrollo (**Tabla 3 y 4**), tal es el caso de los anchos de corredores viales, además de dimensiones estructurales como alturas de muros de contención, diámetros de tubería, etc., recordando que dichos parámetros están sujetos a los diseños estructurales contemplados en la cartilla guía, los cuáles, no deben ser modificados al haber sido diseñados bajo condiciones de carga mínimas especificadas por la norma en cada caso.

Tabla 3

Parámetros de entrada - Cálculo de obras de protección

VER TODOS LOS PLANOS		¿Sección del pilote?	Circular
OBRA DE PROTECCIÓN	MUROS	Longitud del pilote (m)	10
TIPO DE OBRA	MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE PILOTES HINCADOS - AMENAZA SÍSMICA BAJA	Diámetro del pilote (m)	0,4
Longitud del muro (m)	MUROS DE CONTENCIÓN DE CORONA POR GRAVEDAD	# Pilotes resultantes @ S1 (m)	6
Altura del muro (m)	MUROS DE CONTENCIÓN DE PATA POR GRAVEDAD	# Pilotes resultantes @ S2 (m)	3
	MUROS DE CONTENCIÓN REFORZADOS - AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA		
	MUROS DE CONTENCIÓN REFORZADOS - AMENAZA SÍSMICA ALTA		
	MUROS ALIGERADOS EN BLOQUE DE CONCRETO		
	MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE PILOTES HINCADOS - AMENAZA SÍSMICA BAJA		
EXCAVACIÓN MURO (m3)	MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE PILOTES HINCADOS - AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA		
EXCAVACIÓN PILOTES (m3)	MUROS DE CONTENCIÓN SOBRE PILOTES HINCADOS - AMENAZA SÍSMICA ALTA		
TOTAL			
CONCRETO (m3)			
CONCRETO MURO (m3)	23		
CONCRETO PILOTES (m3)	11,31		
TOTAL	36,03		
ACERO (Kg)			
ACERO MURO (Kg)	975		
ACERO PILOTES (Kg)	2080,8		
TOTAL	3208,59		

Tabla 4

Parámetros de entrada - Cálculo de obras de drenaje

VER TODOS LOS PLANOS	
OBRA DE DRENAJE	ALCANTARILLA
TIPO DE OBRA	DESAGÜES PLUVIALES CABEZOTES SIN ALETAS
TUBERÍA (in)	ALCANTARILLA DE MUROS Y LOSAS PARA LLENOS
ANCHO DE VÍA (m)	ALCANTARILLA DE CAJÓN BOX
	ALCANTARILLA DE SECCIÓN CUADRADA BOX
	ALCANTARILLA DE SECCIÓN RECTANGULAR BOX
	ALCANTARILLAS DOBLES DE SECCIÓN CUADRADA BOX
EXCAVACIÓN (m3)	
POCETA	3,92
CABEZOTE SIN ALETAS	1,6
TUBERÍA	22,4
TOTAL	29,32
SOLADO (m3)	
POCETA	0,1
CABEZOTE SIN ALETAS	69
TUBERÍA	0,56
TOTAL	73,14
CONCRETO (m3)	
POCETA	1,78
CABEZOTE SIN ALETAS	1,39
TOTAL	3,33
ACERO (Kg)	
POCETA	96
CABEZOTE SIN ALETAS	69
TOTAL	173,25

Cabe destacar que, el formato trabaja con las cantidades de obra presentes en la cartilla y no con las calculadas para revisar esas mismas magnitudes, ya que las presentadas en la cartilla parten de diseños estructurales ya revisados y aprobados, por tanto, se hace necesaria una revisión de las cantidades recalculadas, con el fin de corregir posibles errores en los datos presentados en la cartilla. También deben ser revisadas las cantidades calculadas para las actividades no presentadas en la cartilla, que, aunque dichas cantidades se calcularon con asesoría de profesionales experimentados, se requiere una revisión detenida para proceder a ajustar y aprobar dichos valores.

Como se ha mencionado antes, el formato para determinar las cantidades de obra calcula dichas magnitudes de materiales para la construcción de una obra, solicitando, para cada tipo, los parámetros mínimos requeridos para su construcción. Una vez ingresados dichos argumentos iniciales, son calculadas las cantidades de obra. Se puede observar un ejemplo de dicho cálculo a continuación:

Tabla 5

Cantidades de obra - construcción de un desagüe pluvial de cabezote con aletas

VER TODOS LOS PLANOS	
OBRA DE DRENAJE	DESAGÜES
TIPO DE OBRA	DESAGÜES PLUVIALES CABEZOTES CON ALETAS
TUBERÍA (in)	24
ANCHO DE VÍA (m)	8
CANTIDADES	
EXCAVACIÓN (m3)	
POCETA	3,92
CABEZOTE CON ALETAS	13,1
TUBERÍA	22,4
TOTAL	41,39
SOLADO (m3)	
POCETA	0,1
CABEZOTE CON ALETAS	0
TUBERÍA	0,56
TOTAL	0,69
CONCRETO (m3)	
POCETA	1,78
CABEZOTE CON ALETAS	3,89
TOTAL	5,95
ACERO (Kg)	
POCETA	96
CABEZOTE CON ALETAS	163,2
TOTAL	272,16

La **Tabla 5** ilustra el cálculo de las cantidades de materiales requeridos para la construcción de un desagüe pluvial de cabezote con aletas, donde, los únicos parámetros de entrada para este cálculo se tratan del diámetro de la tubería del desagüe y el ancho de la vía, que, en este caso son de 24 pulgadas y 8 metros respectivamente. Para un desagüe pluvial con aletas de estas características las cantidades de obra determinadas fueron 41.39 m³ de excavación, 0.69 m³ de solado, 5.95 m³ de concreto y 272.16 kg de acero, estas, se encuentran distribuidas por los elementos que conforman la obra, en este caso, la poceta, tubería y el cabezote con aletas, tal y como lo exhibe la figura anterior.

De manera similar, se encuentran programadas el resto de las obras de drenaje y protección contenidas en la cartilla, a excepción de algunas cuyos diseños no son lo suficientemente claros o implican de altos grados de experiencia constructiva. Las obras programadas finalmente fueron las siguientes:

Obras de drenaje:

- Desagües pluviales - cabezotes sin aletas.
- Desagües pluviales – cabezotes con aletas.
- Tuberías para la conducción.
- Alcantarillas de muros y losas para llenos.
- Alcantarilla de sección cuadrada - Box culverts.
- Alcantarilla de sección rectangular - Box culverts.
- Alcantarillas dobles de sección cuadrada - Box culverts.

Obras de protección:

- Muros de contención de corona por gravedad
- Muros de contención de pata por gravedad
- Muros de contención reforzados - amenaza sísmica intermedia y alta.
- Muros aligerados en bloque de concreto
- Muros de contención sobre pilotes hincados - amenaza sísmica baja, intermedia y alta.
- Muros de contención sobre pilas - amenaza sísmica baja, intermedia y alta

Por otro lado, se tiene el formato para llevar el control de las cantidades de obra ejecutadas. Dicho formato funciona como una base de datos, donde, se van almacenando progresivamente todos los recursos suministrados a cada proyecto. Todos los materiales que son liquidados en un proyecto son sustentados a través de actas de pago, las cuales, son remitidas desde las distintas interventorías que hacen parte de cada consorcio de un proyecto, hacia los supervisores designados del mismo en la Secretaría de infraestructura física en la Gobernación de Antioquia. Dichos recursos explícitamente se ilustran, generalmente, en los anexos de cada una de las actas de pago, donde se pueden observar las cantidades de obra por ítem, precios unitarios y demás, como muestra de su efectiva ejecución.

En la elaboración de este formato, fueron implementadas herramientas para automatizar sucesivas acciones en el tratamiento de los datos, conocidas como Macros, que bien pueden ser elaboradas mediante la grabación de pasos ejecutados en las hojas de cálculos, o mediante la creación de algoritmos en el lenguaje de programación en las que estas mismas estructuran su funcionamiento, conocido como Visual Basic. Por consiguiente, fue necesaria la programación de varias macros (algunas mediante grabación de acciones y otras con la creación del algoritmo) para alcanzar los objetivos buscados, una macro para dirigir y almacenar los datos de entrada a la página que hace las veces de matriz o base de datos, otra macro para seleccionar el número de obras con las que se desea trabajar y algunas otras de funcionamiento más simple para ejecutar funciones básicas como borrar el último registro realizado (en caso de cometer errores en el suministro de información), limpiar el menú inicial de inserción de datos, guardar los cambios en el archivo, etc.

El formato, consta de un menú inicial (**Figura 7**) para suministrar toda esa información en cuanto a las cantidades de obra ejecutadas sustentadas a través de las actas.

Tabla 6

Filtro de obra de interés por ubicación

MEMORIAS DE REVISIÓN - CANTIDADES DE OBRA EJECUTADAS													
MUNICIPIO				OBJETO:									
NOMBRE DE LA VÍA													
CONTRATISTA													
INTERVENTORÍA													
Ubicación de la obra -->													
FECHA	ACTA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	VOLUMEN (m3)	UNIDAD	ITEM	\$/UN	CANTIDAD TOTAL	TOTAL COSTO COP
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

En la **Tabla 6**, se puede observar la sección del formato que permite filtrar cada obra. Específicamente, en la sección en amarillo de la figura, “Ubicación de la obra”, se ingresan las abscisas de interés y se obtiene toda la información en cuanto a los recursos que fueron invertidos en esa obra.

En la **Tabla 7**, por su parte, se puede observar un ejemplo del funcionamiento del formato. Allí se ilustran algunas de las cantidades que fueron ejecutadas en el proceso constructivo de una obra transversal (de drenaje) en un proyecto ya liquidado por la Secretaría, ubicado en el kilómetro 25+040 en el corredor vial La Usa - Caicedo. Se observan todas las características en cada una de las actividades realizadas en la ubicación seleccionada (K25+040), desde volúmenes de concreto, cantidades de acero de refuerzo suministrado, largos de tubería instalada, fechas, actas en las que se ejecutó, precios unitarios, costos totales, etc.

Tabla 7

Cantidades de obra ejecutadas - obra de drenaje K25+040 Corredor vial La Usa - Caicedo

MEMORIAS DE REVISIÓN - CANTIDADES DE OBRA EJECUTADAS													
MUNICIPIO	CAICEDO												
NOMBRE DE LA VÍA	CORREDOR VIAL LA USA - (RÍO CAUCA) - CAICEDO (25BAN06)												
CONTRATISTA	KMC S.A.S												
INTERVENTORÍA	CONSORCIO V&M 303												
Ubicación de la obra -->		K25+040											
FECHA	ACTA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	VOLUMEN (m3)	UNIDAD	ITEM	\$/UN	CANTIDAD TOTAL	TOTAL COSTO COP
26/06/2020	4	K25+040	Encole	Concreto clase F (140 kg/cm2).	1,8	1,8	0,1	0,32	m³	6.28	\$ 421.077	0,32	\$ 134.745
03/06/2020	4	K25+040	Placa poceta	Concreto clase D (Muros, disipadores, aletas y estribos 210 kg/cm2)	1,8	1,8	0,23	0,75	m³	6.25	\$ 622.207	0,75	\$ 466.655
03/06/2020	4	K25+040	Espaldar poceta	Concreto clase D (Muros, disipadores, aletas y estribos 210 kg/cm2)	1,8	2,12	0,2	0,76	m³	6.25	\$ 622.207	0,76	\$ 472.877
03/06/2020	4	K25+040	Poceta aletas	Concreto clase D (Muros, disipadores, aletas y estribos 210 kg/cm2)	1,4	1,12	0,2	1,15	m³	6.25	\$ 622.207	1,15	\$ 715.538
03/06/2020	4	K25+040	Poceta guardaruedas	Concreto clase D (Muros, disipadores, aletas y estribos 210 kg/cm2)	1,8	2,42	0,2	0,71	m³	6.25	\$ 622.207	0,71	\$ 441.767
03/06/2020	4	K25+040	Poceta	Suministro, transporte y colocación de Acero de refuerzo fy=420 Mpa (Grado 60)	0	0	0	0	kg	4.1	\$ 4.101	130,68	\$ 535.918
03/06/2020	4	K25+040	Poceta	Suministro, transporte y colocación de Acero de refuerzo fy=420 Mpa (Grado 60)	0	0	0	0	kg	4.1	\$ 4.101	63,26	\$ 259.429
03/06/2020	4	K25+040	Cabezote	Suministro, transporte y colocación de Acero de refuerzo fy=420 Mpa (Grado 60)	0	0	0	0	kg	4.1	\$ 4.101	0	\$ 0
03/06/2020	4	K25+040	Cabezote	Suministro, transporte y colocación de Acero de refuerzo fy=420 Mpa (Grado 60)	0	0	0	0	kg	4.1	\$ 4.101	0	\$ 0
03/03/2020	1	K25+040	K25+040	Suministro, transporte y colocación de Tubería PVC 36" para alcantarilla	6	0	0	0	m	6.71	\$ 666.510	6	\$ 3.999.059
03/03/2020	1	K25+040	POCETA	demolicion de estructuras (concreto reforzado), no incluye botada de material sobrant	0	0	0	0	m³	6.46	\$ 100.389	3,48	\$ 349.353
03/03/2020	1	K25+040	K25+040	s estructurales varias en material común en seco, incluye entibado. No incluye transp	6	1,3	1,66	12,95	m³	6.2	\$ 16.189	12,95	\$ 209.649
03/03/2020	1	K25+040	POCETA	s estructurales varias en material común en seco, incluye entibado. No incluye transp	1,8	1,8	1,6	5,18	m³	6.2	\$ 16.189	5,18	\$ 83.860
03/03/2020	1	K25+040	K25+040	Lleno manual compactado con material de la excavación	6	1,3	1,66	12,95	m³	1.13	\$ 14.253	7,25	\$ 103.335

Obra transversal K25+040 Vía La Usa – Caicedo, ejemplo de materiales ejecutados desde Acta 1 hasta Acta 4.

Es preciso mencionar que, para la elaboración de los formatos, se pensó inicialmente en otros sistemas más especializados para la automatización y el tratamiento de datos, como lo son los distintos IDE en lenguaje de programación Python. Sin embargo, fueron dos las razones principales por las que se prefirió optar por la herramienta de Excel 365; en primer lugar, la mayoría de los supervisores de la Secretaría están acostumbrados a trabajar en Excel, por lo que les sería muy práctico seguir trabajando con la herramienta y no con otras que pueden ser desconocidas para muchos, lo que podría generar un impacto en la implementación de los formatos. En segundo lugar, el archivo de partida para la estructuración de las hojas de cálculo se encontraba en Excel, por lo tanto, se priorizó la misma herramienta para la automatización de los diferentes cálculos requeridos, lo que se pudo hacer efectivo con el uso de las distintas herramientas y funciones que brinda Excel.

Finalmente, los formatos fueron presentados ante el supervisor (tutor) que acompañó el desarrollo de estos, dando visto bueno ante su funcionalidad e incluso dio acceso a implementar el formato de registro de cantidades de obra ejecutadas en un nuevo contrato, relacionado con el mejoramiento de la vía La Usa (río Cauca) – Caicedo durante el segundo semestre del 2022, en la subregión occidente del departamento de Antioquia. No obstante, por motivos de tiempo se plantea

que dicho ejercicio sea realizado por un nuevo practicante de la dirección de Desarrollo Físico, acompañado por el respectivo supervisor. Además, se dejó pendiente una puesta en común sobre el funcionamiento de los formatos ante los demás supervisores de la dirección, con el fin de implementarlos y aprovechar su practicidad.

5 Conclusiones

El formato de la automatización del cálculo de las cantidades de obra permite disminuir en gran medida los tiempos implementados en la elaboración de los diferentes presupuestos, por ende, hace de las etapas precontractuales y contractuales de los proyectos, un proceso mucho más eficiente y ágil, además, posibilita que dichas cantidades de obra sean calculadas con mucho menor grado de error que como se haría de manera manual. De manera similar, el formato facilita los procesos de diseño y construcción de las diferentes obras de drenaje y protección contenidas en la cartilla, lo que favorece el trabajo de los diferentes supervisores y contratistas involucrados en cada proyecto. Sin embargo, lo ideal sería implementar el formato ya teniendo previamente un acercamiento con la cartilla y cierta claridad sobre esta y su contenido, con el fin de hacer cálculos efectivos de cantidades de obra, en vista de que casi todos los parámetros constructivos parten de diseños ya elaborados y aprobados. De igual manera, dado que la cartilla se encuentra en un proceso constante de actualización, el hecho de tener todo su contenido digitalizado en el formato hace que la corrección de argumentos y diseños sea mucho más rápida y fácil, sin la necesidad de volver a imprimir una nueva cartilla. Además, al ser únicamente una actualización parámetros, los procesos llevados a cabo para hacer posible la automatización de los cálculos no serán alterados.

Por su parte, el formato para llevar el registro de las cantidades de obra que se van ejecutando en un proyecto es bastante útil, incluso, posibilita muchas acciones que facilitan las labores de los distintos supervisores encargados de cada uno de los proyectos dentro de la Secretaría de Infraestructura. Con la implementación de dicho formato, en primer lugar, es factible revisar, para cada una de las obras desarrolladas en el proyecto, la posibilidad de que, por ejemplo, se esté cobrando más de una vez algún ítem por error, lo cual es fundamental, ya que influye directamente en los costos del proyecto. De esta manera, se facilita en gran medida el procedimiento de revisión de las actas de pago y liquidación de contrato, proceso que generalmente es llevado a cabo por el supervisor del proyecto.

En segundo lugar, el formato brinda la posibilidad de calcular inmediatamente cuál fue el costo real total de una obra de protección o drenaje, esto, con el objetivo de analizar el balance entre lo que fue presupuestado inicialmente para el proyecto y el que finalmente fue el costo total

del mismo, con el fin, a su vez, de medir y estandarizar las incertidumbres de la proyección del costo de una obra en particular.

En tercer lugar, entrando más a la etapa postcontractual de los proyectos, en la fase de liquidación de los contratos, la Contraloría General de la Nación, entidad que regula la correcta inversión de bienes y recursos públicos en el país, en medio de sus visitas de revisión a las obras públicas desarrolladas a lo largo del territorio, solicita a menudo registros de cantidades de obra y detalles técnicos en las diferentes obras, información que puede ser brindada de manera práctica y eficaz con ayuda del presente formato, donde se pueden apreciar, cantidades de material ejecutado, dimensiones, fechas de su inversión, acta en la que se sustenta dicha ejecución y costos respectivos, evidenciando un control muy efectivo y regulado del manejo de los diferentes recursos.

Los costos finales de las obras en los proyectos viales llevados a cabo por la Secretaría de Infraestructura Física de la Gobernación de Antioquia mediante su dirección de Desarrollo Físico, siempre tienden a ser mayores a los presupuestados inicialmente. A diferencia de lo que sería un proyecto de construcción de viviendas, por ejemplo, cuya variabilidad en cuanto a costos se refiere suele ser mínima, en los proyectos relacionados con la construcción, mantenimiento o rehabilitación de vías secundarias y terciarias, estos planes suelen ser afectados con mucha frecuencia por agentes externos, tal como, la variabilidad en la intensidad y duración de las temporadas invernales como consecuencia del cambio climático, lo que altera la estabilidad de los taludes y provoca deslizamientos, retrasando la ejecución de las obras requeridas, involucrando a su vez, gastos e inversiones necesarias que no fueron previstas inicialmente.

6 Recomendaciones

Semejante a lo mencionado con antelación, en relación con el formato que permite el cálculo de las cantidades de obra, a pesar de que este fue construido con detenimiento y con asesorías frecuentes de profesionales experimentados en el tema, se requiere una revisión completa del mismo para proceder a implementarlo en los diferentes cálculos presupuestales. De manera similar, el formato queda abierto a cambios, actualizaciones, información complementaria y mejoras, para hacer de su funcionalidad algo cada vez más eficiente.

En alusión al formato para llevar el registro de los recursos ejecutado en obra, de igual forma, queda a disposición de la dirección de Desarrollo físico posibles mejoras al mismo, en pro de que cada vez se facilite su implementación y continúe cumpliendo los objetivos con los que fue desarrollado en primera instancia.

Referencias

- Abeykoon, T., Gallage, C., Dareeju, B., y Trofimovs, J. (2018). *Real-time monitoring and wireless data transmission to predict rain-induced landslides in critical slopes*. Aust. Geomech. J. 53 (3), 61–76. <https://n9.cl/ur1u>
- Abeykoon, T., Gallage, C., y Trofimovs, J. (2019). *Optimization of sensor locations for reliable and economical early warning of rainfall-induced landslides*. Proceedings Ninth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment (GEOMATE 2019), Japan. GEOMATE International Society, Japan, pp. 69–74. <https://eprints.qut.edu.au/197046/>
- Baum, R.L., y Godt, J.W. (2010). *Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA*. Landslides 7 (3), 259–272. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0177-0>
- Deng, Y., Hwang, J., y Lyu, Y. (2021) *Developing Real-Time Nowcasting System for Regional Landslide Hazard Assessment under Extreme Rainfall Events*. Water, 13(5), 732. <https://doi.org/10.3390/w13050732>
- Gallage, C., Abeykoon, T., y Uchimura, T. (2020). *Instrumented model slopes to investigate the effects of slope inclination on rainfall-induced landslides*. Soils and foundations 61 (1), 160-174. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.11.006>
- Gan, J., y Zhang, Y. X. (2020). *Analysis of Model Tests of Rainfall-Induced Soil Deposit Landslide*. Advances in Civil Engineering, vol. 2020, Article ID 6431247, 13 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6431247>
- Gobernación de Antioquia. (2022). *Secretaría de Infraestructura Física*. Medellín. <http://www.antioquiahonesta.com/secretarias/secretaria-de-infraestructura-fisica/>
- INVÍAS. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. República de Colombia: Instituto Nacional de Vías. <https://cutt.ly/EAWJUVK>
- INVÍAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. República de Colombia: Instituto Nacional de Vías. <https://cutt.ly/VAWJ8Hr>

- INVÍAS. (2016) *Clasificación de las Carreteras*. República de Colombia: Instituto Nacional de Vías.
<https://cutt.ly/2AQMcss>
- Jaramillo, M. (2019). *Obras de drenaje y protección para carreteras*. Medellín: Gobernación de Antioquia.
- Montoya, J., García, E., y Vega, C. (2016). *Effect of rainfall infiltration on the hydraulic response and failure mechanisms of sandy slope models*. 97 Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing.) Vol. 25 (43), 97-109. Tunja-Boyacá, Colombia. ISSN Impreso 0121-1129, ISSN Online 2357-5328, <http://dx.doi.org/10.19053/01211129.v25.n43.2016.5302>
- Petley, D., (2012). *Global patterns of loss of life from landslides*. *Geology* 40 (10), 927–930.
<https://doi.org/10.1130/G33217.1>
- PIARC. (2014). *Asociación Mundial de la Carretera: Importancia de la conservación de carreteras*. La Défense Cedex: SETRA, France. <https://cutt.ly/JAQCJLd>
- Saboya, F., Alves, M., y Pinto, W. (2006). *Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic*. *Engineering Geology*, 86, 211-224. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.05.001>
- Thar, M., Chueasamat, A., Hori, T., Saito, H., y Kohgo, Y. (2021). *Effectiveness of filter gabions against slope failure due to heavy rainfall*. *Soils and foundations* 61 (2), 480-495.
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.01.010>.