

METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA PATOLOGÍA DE LAS ALCANTARILLAS EN LAS CARRETERAS COLOMBIANAS

Oscar Fernando Rodríguez B.*

Ricardo Alberto Mendoza**

Thannia Marxela Sepúlveda**

Resumen: se presenta una metodología encaminada a evaluar el estado de las alcantarillas en las vías desde diferentes aspectos. Con esta metodología se logró la aproximación a una herramienta integral y más funcional, que actualmente puede ser considerada como una opción de trabajo en el diagnóstico y la planeación de trabajos de mantenimiento de las obras de arte diseñadas para el manejo de las aguas en proyectos carreteros. Como resultado, se obtuvieron datos importantes sobre el estado y la caracterización general del comportamiento de las obras de arte en las vías seleccionadas para el estudio, lo que refleja de manera bastante aproximada las condiciones de buena parte de las carreteras colombianas que actualmente están en funcionamiento a través de sistemas de concesión o por administración estatal.

Abstract: this article presents a methodology for evaluating the current conditions of road sewerage systems as seen from different perspectives. The application of this methodology led to the design of an integral and more functional tool that could be considered as an option for diagnosing and planning maintenance work in the sewage systems involved in road construction projects. As a result of the study carried out, important data were collected concerning the conditions and general characteristics of the works of art which have been designed for sewerage purposes in the roads selected for this study. Such results very precisely reflect the conditions of a large part of the roads in Colombia which are currently in service through concession systems and through governmental administration.

* Ingeniero civil, especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Profesor Instructor y Jefe de Sección de Hidrotecnia y ambiental, Departamento de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana.

** Ingenieros civiles, Pontificia Universidad Javeriana.

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio pretende recolectar los avances realizados en investigaciones anteriores, aplicando una metodología definida para el estudio de la patología de alcantarillas en carreteras; de esta manera se quiere proponer un método integral que le sirva al Ministerio de Transporte, a los administradores viales y a todas aquellas personas relacionadas con la planeación, gestión y mantenimiento de vías, que sirva para llevar un control de los sistemas de drenaje de los corredores viales que se encuentren a su cargo, aportando una nueva herramienta alternativa en la evaluación de la patología de alcantarillas.

El mal estado de la infraestructura vial del país se debe en gran parte al manejo inadecuado del agua, a la falta de mantenimiento de las obras de arte en las vías y a las condiciones deficientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado en las mismas.

Debido a su geomorfología, en Colombia predominan tres tipos de terreno: plano, ondulado y montañoso, los cuales condicionan la mayor parte de sus obras lineales de infraestructura. Adicionalmente, la gran variabilidad de las condiciones presentes en términos de clima, hidrología, geología, etc., hacen dispendiosa la labor de unificar criterios y consolidar una base para manejar el diseño de obras de drenaje que puedan cumplir con las condiciones de trabajo a que serán sometidas dentro de su vida útil. Por este motivo, es necesario que cualquier planteamiento que se haga con relación al diseño de obras de drenaje para proyectos de infraestructura vial sea lo suficientemente flexible para adaptarse a la variabilidad antes planteada.

Una de las funciones de los drenajes de una carretera es la de proveer las facilidades necesarias para dar paso a las aguas de un lado a otro del cuerpo de la vía, función que es cumplida generalmente por las alcantarillas, los pontones y los puentes, estructuras que reciben el nombre genérico de drenajes transversales. Las alcantarillas continúan o sustituyen a una zanja cuando la corriente de agua encuentra una barrera artificial como el terraplén de una carretera. Por otra parte, los pontones y los puentes son estructuras que permiten el paso de corrientes más caudalosas que escurren por una quebrada, un arroyo o un río. Hidráulicamente, las alcantarillas se definen como conductos cerrados, ya que pueden operar con la línea de carga de la corriente de agua por encima de su corona, y, por consiguiente, trabajar a presión. Una alcantarilla que no trabaje a plena carga opera de la misma manera que un canal abierto. Las alcantarillas pueden ser construidas de diversas formas, redondas, ovaladas o abovedadas, cuadradas y rectangulares, y estar hechas de distintos materiales, v.g. concreto reforzado o sin reforzar, metal liso o corrugado, arcilla, etc.

Al analizar una estructura de drenaje, uno de los primeros pasos a dar consiste en estimar el volumen de agua que llegará a ella en un determinado instante. Dicho volumen de agua se llama descarga de diseño y su determinación debe realizarse con el mayor grado de precisión, a fin de poder fijar, de manera aproximada y lo más económica-

mente posible, el tamaño de la estructura requerida y disponer del agua de escurrimiento sin que ocurran daños a la carretera. Numerosos y diferentes métodos se han utilizado para determinar la descarga de diseño, todos ellos basados en uno de los siguientes criterios:

- Registro de corrientes individuales y observación de estructuras existentes.
- Uso de fórmulas, empíricas o semi empíricas, para determinar la máxima descarga.
- Uso de fórmulas, empíricas o semi empíricas, para determinar directamente el área de desagüe requerida.
- Aplicación de hidrogramas.

Cada uno de estos métodos tiene sus propósitos particulares, razón por la que ninguno es de aplicación general.

Una de las fórmulas que permiten evaluar la descarga de diseño y la de uso más extendido es la fórmula racional. Ella plantea que la descarga es igual a un porcentaje de la precipitación multiplicada por el área de una cuenca. La duración mínima de la lluvia seleccionada deberá ser el tiempo necesario, en minutos, para que una gota de agua llegue a la estructura de drenaje desde el punto más alejado de la cuenca. A este tiempo se lo denomina tiempo de concentración.

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (1)$$

Donde:

Q = descarga [lt/seg].

C = coeficiente de escorrentía.

I = intensidad de la precipitación correspondiente al tiempo de concentración [lt/seg-ha].

A = área de la cuenca [ha].

La fórmula racional está basada en ciertas hipótesis que, según Krimgold, son las siguientes:

- El escurrimiento resultante de cualquier intensidad de lluvia dura, al menos, tanto como el tiempo de concentración.
- El escurrimiento resultante de una intensidad de lluvia, con duración igual o mayor que el tiempo de concentración, es una fracción de la precipitación.
- La frecuencia de la máxima descarga es la misma que la de la intensidad de lluvia para el tiempo de concentración dado.
- La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.
- El coeficiente de escorrentía es el mismo para lluvias de diversas frecuencias.
- El coeficiente de escorrentía es el mismo para todas las lluvias en una cuenca dada.

El método racional no toma en cuenta el efecto de almacenamiento de la cuenca, pues supone que la descarga es igual a la precipitación pluvial menos toda la retención de la cuenca. Tampoco considera variaciones de intensidad de lluvia en el área durante todo el tiempo de concentración. Estas suposiciones lo hacen particularmente susceptible a errores de cálculos, cuando el tamaño del área de drenaje es grande. Con valores correctos de precipitación pluvial y para un coeficiente de escurrimiento dado, la fórmula del método racional siempre sobrestima el escurrimiento, con errores apreciables al aumentar el tamaño de la cuenca. Por consiguiente, esta fórmula sólo es confiable en cuencas pequeñas, generalmente de menos de 500 hectáreas.

El método para la evaluación de la patología de alcantarillas en carreteras propone una serie de pasos para conseguir la realización de una caracterización de la zona que posteriormente permita analizar, en un entorno global, las patologías que se encuentren. De esta manera será más fácil entender las problemáticas y los agentes causantes de las mismas. En primera instancia se realiza un levantamiento de información de las características de la vía. Es importante reconocer que dicha caracterización puede ser flexible en cuanto a contenido, y se deja a criterio de los profesionales que realicen el estudio, el grado de profundidad de la descripción, siempre y cuando ésta contemple el mínimo de información que permita obtener un panorama general del entorno del proyecto vial. La información recolectada es la siguiente:

- Identificación del proyecto: ubicación de la vía dentro de un contexto nacional y regional, determinando a qué ruta pertenece, qué regiones conecta, bajo qué jurisdicciones se encuentra, identificando adicionalmente todos aquellos puntos de referencia que se consideren relevantes en la ubicación.
- Caracterización de la ruta: recolección de información relacionada con la localización, las características de la vía (información básica de la vía, extensión, geometría, estructura, pendientes, velocidad de diseño, radio mínimo, peralte máximo y mínimo, etc.) y su área de influencia (derechos de vía y a las zonas directamente beneficiadas por el proyecto).
- Caracterización del componente geoesférico: acopio de información sobre geología estructural, riesgo sísmico, formaciones, plegamientos de la zona y fallas que atraviesa el proyecto, tipos de suelo, litología de la zona, entre otros.
- Caracterización geotécnica: información más detallada sobre afloramientos a lo largo de la vía, evaluación superficial de la calzada, morfología del terreno y sectorización geotécnica del proyecto.
- Paisajismo: evaluación desde el punto de vista de tierra, vegetación, agua y estructuras.
- Componente hidroclimático: recolección de información de orden climatológico a fin de determinar las características climáticas de la zona de acuerdo con datos obtenidos de las diferentes estaciones meteorológicas que se encuentran en el área de influencia;

- estas características son básicamente temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, y evaporación.
- Hidrografía: información de los ríos, quebradas y nacimientos de la zona en la que se desarrolla el proyecto.
 - Usos del agua: información sobre el manejo que se le está dando al agua en la región.
 - Componente biótico: información que permite caracterizar la zona del proyecto dentro de algunas de las clasificaciones de zonas de vida, teniendo en cuenta el tipo de vegetación, los cultivos presentes, la fauna silvestre, etc.; esta información generalmente se obtiene de las cartas ecológicas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
 - Componentes socioeconómico y cultural: tiene en cuenta aspectos tales como calidad de vida, principales actividades de la región, población, educación, servicios públicos, etc.
 - Economía: diagnostica el componente económico de la región, sus actividades económicas, su industria, comercio, explotaciones, etc.

El levantamiento de información de campo que se realiza a continuación comprende a su vez los siguientes pasos:

- Listas de chequeo: lista de alcantarillas de las que consta el proyecto, que consigna información como número de obra, abscisa, condiciones de la vía (número de calzadas, número de carriles, tipo de terreno, separador central, bermas, cunetas y condiciones del pavimento) y condiciones físicas de la obra (tipo de conducto, dimensiones y número de conductos).
- Inventario de alcantarillas: registro completo y organizado sobre los aspectos concernientes a la alcantarilla y a su entorno a través de un formato de inventario de alcantarillas.
- Información general: comprende información de tipo cualitativo para cada una de las alcantarillas.
- Análisis hidráulico e hidrológico: abarca a su vez la definición y caracterización de cuencas aferentes, el análisis de precipitaciones y la determinación de caudales.
- Análisis estadístico y de resultados.

La información recolectada en las etapas anteriores es procesada y analizada estadísticamente para obtener los resultados que dan respuesta al análisis de la patología de alcantarillas.

2. MÉTODO DE ESTUDIO

Para el desarrollo y aplicación de la metodología se consideraron algunos aspectos de especial importancia, tales como:

- El territorio nacional presenta en general tres tipos de terreno: plano, ondulado y montañoso; por este motivo, la metodología planteada en el proyecto debe ser aplicable en cualquier condición.

- Debido a la variabilidad de la geometría de las vías nacionales, deben considerarse en la metodología características como el número de carriles, la presencia o no de separador central, la presencia o no de cunetas y bermas y, finalmente, los volúmenes de tráfico manejados.
- El manejo de infraestructura vial forma parte importante del correcto desempeño y mantenimiento de las vías, por tanto, es importante tener en cuenta el sistema de administración en la definición de la metodología.

Una vez analizadas estas consideraciones, se seleccionaron tres vías cercanas a Bogotá, D.C.; las vías seleccionadas fueron:

- Bogotá - Guasca, sector Los Patios - Guasca: atraviesa tipos de terreno ondulado y montañoso, consta de dos carriles de circulación en ambos sentidos, su sistema de administración es por concesión (Consortio La Calera) y ofrece un volumen de tráfico moderado.
- Bogotá - Villeta, sector El Cortijo - Peaje Caiquero: atraviesa los tipos de terreno mencionados, tiene un carril en cada sentido con tramos con dos carriles de circulación y con tercer carril de ascenso y en algunos sectores con dos carriles de circulación en cada sentido, su sistema de administración está a cargo de dos concesionarios (Consortio del Magdalena Medio, sector El Vino - Villeta y Consortio Sabana de Occidente, sector El Cortijo-El Vino), el volumen de tráfico presente corresponde a medio-alto.
- Bogotá - Girardot, sector Fusagasugá - Girardot: atraviesa los tres tipos de terreno, consta de un carril de circulación en cada sentido y en algunos tramos con tercer carril de ascenso. Su administración está a cargo del Instituto Nacional de Vías y delegada a un administrador vial; presenta un volumen de tráfico alto.

3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de la información en campo, se elaboró una ficha técnica de inventario de alcantarillas que permite recoger información sobre condiciones físicas de la estructura, condiciones hidráulicas, factores que determinan el comportamiento de la alcantarilla, condiciones estructurales y un esquema representativo de la estructura.

Para poder clasificar las obras que se encuentran en la vía de acuerdo con un modelo tipo, se codificaron las diferentes clases de encole y descole de las alcantarillas, con el fin de registrar, de manera más rápida, el esquema representativo de cada estructura. Esta codificación permite relacionar analíticamente el tipo de estructura con los factores que determinan el comportamiento de la misma. Para la realización de esta clasificación se realizaron diferentes esquemas.

4. EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS

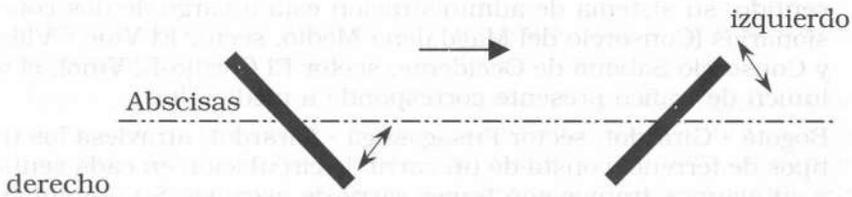
Dentro de los aspectos que se consideraron importantes para evaluar la patología de las alcantarillas se encuentran las características físicas, las condiciones hidráulicas, las condiciones estructurales, los

factores que determinan el comportamiento de la alcantarilla y otros aspectos relacionados con el entorno de la estructura.

Las características físicas son importantes, porque determinan el tipo de alcantarilla; entre ellas están las características geométricas, el tipo de material y la forma de la sección entre otras.

Dentro de las características físicas se consideraron los siguientes aspectos:

- Conducto: se evalúa el número de secciones, si estas son de tipo circular, rectangular o *box* y se consignan sus dimensiones (diámetro, base y altura).
- Tipo de embocadura y desembocadura: se registra si se presentan muros de ala, muros de vuelta, pocetas u otro tipo de estructura.
- Material: se selecciona el tipo de material que presente la estructura (hormigón, madera, mampostería o metal).
- Angulo de esviaje: se consigna si la estructura presenta esviaje con respecto al eje de la carretera y su ángulo de acuerdo al siguiente diagrama:



- Cabeza de entrada y cabeza de salida: corresponde a la altura del muro cabezal a partir de la clave del conducto.
- Altura entre clave de tubo y rasante: equivale a la longitud de tapada, es decir, la longitud entre la rasante y la parte superior del conducto.
- Longitud de conducto: equivale a la longitud total del conducto.
- Diferencia de nivel entre entrada y salida: corresponde a la medida en centímetros de la diferencia de nivel entre la embocadura y la desembocadura del conducto.
- Pendiente: corresponde al cálculo en porcentaje de la inclinación del conducto.

Las condiciones hidráulicas determinan el comportamiento de la estructura con respecto a las diferentes condiciones a que puede estar sometida por parte del agua. Las condiciones hidráulicas que se tienen en cuenta en la metodología se tienen:

- Origen y destino del agua drenada: se considera que las aguas pueden llegar y salir de las alcantarillas por medio de cunetas, cauces naturales, canales o a través del terreno.
- Profundidad del agua: es importante determinar la profundidad del agua aguas arriba y aguas abajo para el control del caudal real con respecto al caudal de diseño.

- **Curso permanente:** debido a las diferentes épocas de lluvia, se pueden presentar cursos secos en épocas de no lluvias o, por el contrario, cursos que se mantienen durante todo el año.
- **Tipo de entrada a la alcantarilla:** se refiere a la entrada del agua a la estructura, la cual puede ser angular o suave. Este factor es importante porque una entrada brusca puede producir deterioros en la estructura, corrientes, erosión, entre otros.
- **Caudal de diseño:** corresponde al valor de caudal calculado para la estructura en el estudio hidrológico.
- **Control de entrada:** corresponde a la altura de remanso calculada en el estudio hidráulico para la alcantarilla.
- **Control de salida:** corresponde a la altura de carga calculada en el estudio hidráulico para la alcantarilla.

La identificación de las condiciones estructurales ayuda a determinar el estado de la estructura, de lo cual depende su correcto funcionamiento. El estado de la estructura se determina en la metodología, mediante un examen visual de los diferentes elementos de la alcantarilla.

Los factores que determinan el comportamiento de las alcantarillas indican la patología de la obra; es mediante su relación con el entorno y con el estado físico, hidráulico y estructural de la obra como se van a determinar los posibles orígenes de las patologías encontradas. Los aspectos a tener en cuenta en este sentido son:

- **Sedimentación:** indica si se presenta sedimentación o no en la estructura. Si existe, se debe registrar el tipo de material y su altura correspondiente con respecto a la plantilla de la estructura.
- **Erosión:** indica si hay rasgos de erosión, en dónde se presenta (cauce o suelo de la alcantarilla) y a qué tipo corresponde.
- **Obstrucción:** indica si existe algún tipo de material que obstruya el conducto.
- **Embankamiento:** indica el grado de sedimentación excesiva que presenta la estructura.
- **Abrasión:** registra el desgaste del material que conforma la estructura.
- **Estructura inclinada:** registra si existe una posible falla de fundación por el asentamiento de la estructura con respecto a la horizontal.

Dentro de los otros aspectos que se consideraron importantes de evaluar, al ser determinantes en la evaluación de la patología de las alcantarillas, se tienen:

- **Protección en el cauce:** indica si existen elementos tales como gaviones, bultos de arena, muros de contención que eviten derrumbes en los taludes del cauce.

- Estructuras complementarias: indica la existencia de estructuras tales como vertederos, filtros, disipadores de energía, o la ausencia de otras que se consideren necesarias tales como las cunetas.
- Mantenimiento previo: registra si la alcantarilla presenta algún tipo de limpieza o arreglo en la conformación del cauce.
- Condiciones especiales del entorno: registra las características del sector que la rodea, así como la influencia sobre la estructura.
- Estado del pavimento sobre la alcantarilla: permite indicar problemas en la estructura de la alcantarilla.

Por último, es importante un registro gráfico que describa las características y funcionamiento de la alcantarilla; esto se logra mediante el plano tipo y los croquis. El plano tipo corresponde al de la estructura de acuerdo con la codificación planteada; el croquis de vista frontal incluye la altura del tubo clave a rasante de la vía y las dimensiones del conducto; el croquis de perfil incluye las alturas de la profundidad del agua, de sedimentación, y de muros.

5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para facilitar el procesamiento de los resultados del trabajo de campo en los tramos de vía estudiados, se realizó un programa en lenguaje *Visual Basic*, el cual recibe la información, ya sea consignada en la ficha de inventario de alcantarillas o en campo directamente con la ayuda de un PC portátil. El programa procesa la información de acuerdo con parámetros predefinidos, lo que permite obtener como resultado diferentes gráficas y matrices estadísticas. Permite además, imprimir los parámetros registrados en campo o directamente de la ficha de inventario de alcantarillas.

Desde el punto de vista hidrológico se identificaron las estaciones más cercanas y representativas para cada una de las vías, se procedió a analizar la ubicación de dichas estaciones y se sectorizaron las vías de acuerdo con la información climatológica encontrada en los estudios consultados. En caso de no existir dicha información se realizaron las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) para las estaciones seleccionadas, utilizando un método que se basa en precipitaciones máximas anuales en 24 horas.

Teniendo en cuenta su aplicación, el estudio de las alcantarillas requiere no sólo un conocimiento de la mecánica básica del flujo en los conductos cerrados, expresado en forma de ecuaciones que relacionen el gasto o caudal con las dimensiones de las alcantarillas, también un procedimiento de cálculo que simplifique la aplicación de las numerosas variables involucradas en dichas ecuaciones y permita relacionar la capacidad hidráulica del conducto con los requerimientos hidrológicos.

El estudio de los tipos de flujo a través de las alcantarillas permite establecer las relaciones existentes entre la altura del agua a la entrada del conducto, el gasto y las dimensiones de la alcantarilla. Para el caso

de las alcantarillas trabajando con control a la entrada, los resultados experimentales obtenidos se han presentado en forma de nomogramas.

Con ayuda del programa para patologías de alcantarillas, se elaboraron análisis de frecuencias, a partir de los cuales se obtuvo información gráfica acerca del estado de las alcantarillas en las vías estudiadas. Para cada una de las vías, se realizaron cruces de variables referentes a factores que afectan el comportamiento de la alcantarilla, tales como sedimentación, emisión, obstrucción, porcentaje de embancamiento, porcentaje de la estructura cubierto por vegetación, abrasión y estructura inclinada.

De este análisis se pueden deducir las siguientes consideraciones:

- El diseño de alcantarillas con muro cabezal en su estructura, construidas en terreno plano, genera problemas de erosión, conduciendo a la inestabilidad de la estructura. En terreno montañoso no se presenta este inconveniente.
- En terreno plano, es recomendable utilizar estructuras tipo muro ala; en caso de utilizar muro cabezal, se debe contemplar el diseño de estructuras complementarias.
- La construcción de cunetas es un excelente complemento para el buen funcionamiento de las estructuras, protegiéndolas y conduciendo el agua hacia la alcantarilla sin producir daños.
- En los casos en los que la diferencia de nivel entre los extremos de la alcantarilla es considerablemente grande, es recomendable diseñar el conducto con pendientes discontinuas o colocar estructuras disipadoras en su interior.
- Contrario a lo que se esperaba, el estado del pavimento no refleja en forma directa la patología de alcantarillas, probablemente debido a que el mantenimiento de la estructura de las vías es permanente.
- La sección de control en una alcantarilla puede estar ubicada en la salida por circunstancias tales como la reducción abrupta de la sección del conducto, las condiciones de obstrucción aguas abajo, el remanso producido por la confluencia con otra corriente de agua o la reducción en el canal de salida de la alcantarilla.
- Cuando no existen estructuras complementadas, existen probabilidades altas de que se presente abrasión en la estructura.
- En algunos casos particulares, la combinación de condiciones tales como valores altos de altura de agua a la entrada de la alcantarilla, pendientes suaves del conducto y longitud de la alcantarilla suficientemente larga, pueden generar cambios de la sección de control de entrada a salida.
- El comportamiento hidráulico de las alcantarillas analizadas en la totalidad del estudio no presentó problemas, excepto en casos puntuales de alcantarillas subdiseñadas y con secciones de control a la salida.

- En las tres vías estudiadas se observó que los habitantes de la zona aledaña al corredor vial invaden el área de las alcantarillas, ocasionando taponamiento y desplazamiento de las obras y afectando directamente el funcionamiento de éstas. Es recomendable insistir en la importancia de los derechos de vía, con el fin de dar solución a este tipo de problemas.
- En el estudio, la altura clave tubo a rasante en espesores normales (menores a 6 m) no afecta las condiciones del conducto.

Las investigaciones posteriores que analicen y complementen el estudio de patologías de todo el sistema de drenaje vial, pueden aportar importantes avances para un correcto seguimiento del estado de la infraestructura vial en el país. Estos trabajos deberían concentrarse en el análisis de puentes, pontones, cunetas, subdrenes, estructuras complementarias y estructuras de estabilidad de taludes.

REFERENCIAS

- Bernal, C. y Rojas, L. "Estudio de la patología de alcantarillas en carreteras con miras a la evaluación de los modelos de diseño del Ministerio de Transporte en la vía Chía - Ubaté, sector Zipaquirá - Tausa". Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Departamento de Ingeniería Civil. Bogotá, 1998.
- Carciente, J. *Carreteras, Estudio y Proyecto*. 2ª ed. Caracas: Vega, 1985.
- Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. *XVI Censo Nacional de Población y V de Vivienda*. Bogotá: DANE, 1993.
- Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. *Proyecciones municipales de población por área. 1995-2005*. Bogotá: DANE, 1994.
- Espinal, L. S. *Zonas de vida de Colombia*. Medellín: 1990.
- Guevara, J. *Suelos del departamento de Cundinamarca*. Bogotá: 1986.
- Hubach, E. "Compilación de estudios geológicos oficiales en Colombia. Reconocimiento del área La Calera - Sopó - Guatavita - Guasca - Cundinamarca". Tomo VIII. Informe 158. Bogotá: 1950.
- Hubach, E. *Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores*. Bogotá: 1952.
- Monsalve, G. *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: ECI, 1995.
- Silva, G. "Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa". En: *Ingeniería e Investigación*, 16.
- Ulloa, C., Monroy, G., Rodríguez, E. *Geología del departamento de Cundinamarca*. Bogotá: 1978.