

**DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE
RESPUESTA DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL CUERPO OFICIAL DE
BOMBEROS DE BOGOTÁ**



DIANA MACIAS RIVERA

STEVEN CASQUETE MURCIA

ASESOR: DIEGO ARMANDO RIVERA GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES
MANIZALES**



**DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE
RESPUESTA DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL CUERPO OFICIAL DE
BOMBEROS DE BOGOTÁ**

DIANA MACIAS RIVERA

STEVEN CASQUETE MURCIA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE
DESASTRES**

ASESOR: DIEGO ARMANDO RIVERA GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES
MANIZALES**



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. ANTECEDENTES.....	10
3. CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	12
4. MARCO TEORICO.....	13
4.1. 7.1 MARCO CONCEPTUAL.....	18
4.2. 7.2 MARCO NORMATIVO.....	21
5. OBJETIVO GENERAL.....	24
5.1. 8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
6. METODOLOGIA.....	24
6.1. 9.1 TIPO MONOGRAFÍA.....	24
6.2. 9.2 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	25
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	30
7.1. Determinación de la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos, mediante el uso de herramientas SIG.....	30
7.2. Definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.....	31



7.3. Propuesta de ubicación de estaciones de bomberos, con el fin de dar un óptimo cubrimiento por parte de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.....	36
8. CONCLUSIONES.....	39
9. RECOMENDACIONES.....	41
10. BIBLIOGRAFÍA	42
11. ANEXOS	46
11.1. Definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.	54



LISTA DE MAPAS

Mapa 1.Contexto Geográfico Bogotá	13
Mapa 2.Capa con una calidad.....	30
Mapa 3.Mapa de las 17 estaciones de bomberos, evidenciando la distancia aproximada que puede recorrer un vehículo de bomberos, en un tiempo entre 01 y 07 minutos, es decir, las áreas de los colores verde 1 minuto, hasta el rojo 7 minutos.	36
Mapa 4.Base cartográfica malla vial Bogotá	47
Mapa 5.Capa con una calidad.....	49
Mapa 6.Control topológico de la malla vial.....	54
Mapa 7.Network analyst para determinar áreas de cubrimiento	55
Mapa 8.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía I.....	60
Mapa 9.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía II.....	61
Mapa 10.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía III.....	62
Mapa 11.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía IV	63
Mapa 12.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía V	64
Mapa 12.Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía V	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.Lote Futura Estación B-18 Sector Santa Barba, Localidad Usaquén	37
Grafica 2.Lote Futura Estación B-18 Sector Santa Barba, Localidad Usaquén	38

LISTA DE TABLA

Tabla 1.Resultado de las áreas de cubrimiento según el modelamiento de análisis de redes, frente al área de cubrimiento de las 17 estaciones de bomberos de la UAECOB	35
---	----



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Calculo para determinar una red, según (Bosque Sendra, 2000).	15
Ilustración 2. Ecuación punto de oferta mas cercano.	17
Ilustración 3. Metodología para la Determinación de la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos, mediante el uso de herramientas SIG.	26
Ilustración 4. Metodología para la definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.	28
Ilustración 5. Metodología para la ubicación de estaciones de bomberos, con el fin de dar un óptimo cubrimiento por parte de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.	29
Ilustración 6. Base Cartográfica de Bogotá	46
Ilustración 7. Reglas topológicas.	48
Ilustración 8. Tabla de atributos	50
Ilustración 9. Tabla de atributos	51
Ilustración 10. Atributos de la malla vial Bogotá	52
Ilustración 11. Especificación de los atributos del network dataset.	53
Ilustración 12. Tabla de atributos	56
Ilustración 13. Tabla de atributos	57
Ilustración 14. Capa de estaciones de bomberos	58
Ilustración 15. Áreas de servicios.	59



RESUMEN

La necesidad de mejorar los sistemas de emergencia a nivel mundial ha sido un reto importante, entendiendo que es vital la optimización de tiempo de respuesta, buscando así minimizar la materialización de riesgo y disminuyendo la posibilidad de materialización de escenarios de riesgos que ponen en peligro a la humanidad, el ambiente y las estructuras, teniendo en cuenta lo anterior se elabora esta monografía con el objetivo de implementar de un modelo de redes que optimice la respuesta de la unidad administrativa especial del cuerpo de bomberos Bogotá.

Actualmente Bogotá cuenta con la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos, en adelante “UAECOB”, donde se centraliza la atención de todas las emergencias reportadas en la ciudad. Si bien se cuenta con capacidad instalada para la atención de eventos contingentes, también es notable el aumento en los tiempo de respuesta; Bogotá cuenta con diecisiete estaciones de bomberos para atender a los incidentes en un mínimo de tiempo; lo anterior teniendo en cuenta la extensión territorial de la capital y el número de condicionantes externos que generan mayor dificultad para cumplir con los tiempos de arribo; algunas de estas restricciones se encuentran asociadas con el tráfico de la ciudad, aumento del parque automotor, estado de la malla vial, limitantes arcifinios entre otros, por ende los tiempo para dar respuesta a los incidentes en las estaciones de bomberos va en aumento disminuyendo la eficiencia de atención oportuna.

Para esto se crea el modelamientos de un análisis de redes, donde se tienen en cuenta diferentes criterios como tiempos de llegada, distancias, velocidad, componentes externos, para conseguir así resultados más exactos, analizando la maya vial por donde se dispondrá del sistema de redes que optimice los tiempos de respuesta del cuerpo de bomberos; este trabajo es de tipo investigativo mediante la aplicación de un modelo SIG, la optimización de la prestación de servicio de la UAECOB, definiendo sus tiempos de respuestas, las áreas de cubrimiento de las 17 estaciones de bomberos y la posible ampliación de capacidades del organismo de socorro. De esta manera se puede contar con una variable técnica para determinar el aumento de la capacidad bomberil para la ciudad de Bogotá y mejorar sus tiempos de respuesta.



SUMMARY

The need to improve emergency systems worldwide has been a significant challenge, understanding that the optimization of response time is vital, thus seeking to minimize the materialization of risk and reducing the possibility of materialization of risk scenarios that endanger humanity, the environment and structures, taking into account the above, this monograph is prepared with the objective of implementing a network model that optimizes the response of the special administrative unit of the Bogotá fire brigade.

Currently Bogotá has the Special Administrative Unit of the Official Fire Department, hereinafter "UAECOB", where the attention of all emergencies reported in the city is centralized. Although there is an installed capacity to attend contingent events, the increase in response times is also notable; Bogotá has seventeen fire stations to attend to incidents in a minimum amount of time; the foregoing taking into account the territorial extension of the capital and the number of external conditions that generate greater difficulty in complying with the arrival times; Some of these restrictions are associated with city traffic, an increase in the number of vehicles, the state of the road network, arcifinios limits, among others, therefore the time to respond to incidents in fire stations is increasing, decreasing the timely care efficiency.

For this, the modeling of a network analysis is created, where different criteria such as arrival times, distances, speed, external components are taken into account, in order to achieve more exact results, analyzing the road maya where the network system will be available that optimizes the response times of the fire department; This work is of an investigative nature through the application of a GIS model, the optimization of the UAECOB's service provision, defining its response times, the coverage areas of the 17 fire stations and the possible expansion of capacities of the Help. In this way, a technical variable can be used to determine the increase in firepower capacity for the city of Bogotá and improve its response times.



1. INTRODUCCIÓN

Los diferentes cambios que se presentan a nivel mundial, el dinámismo de las poblaciones, el cambio climático, entre otros han generado un aumento considerable en las emergencias, poniendo en riesgo poblaciones acentuada en los territorios y presentándose así pérdidas invaluable en los ecosistemas, sumándole daños materiales y financieros incalculables. Con el fin de generar un mayor conocimiento de las posibles afectaciones que se generen ante una amenaza, ya sea de origen natural o antrópica, y estar mejor preparados a posibles situaciones de riesgo; los sistemas de información geográfica han jugado un papel muy importante para entender estos fenómenos.

Mediante la implementación de estas herramientas, se han podido entender, zonificar y mapear los riesgos que puedan afectar las poblaciones y los territorios, a su vez se ha podido modelar las posibles ubicaciones de instalaciones de organismos de socorro, con el fin de optimizar los recursos para una atención de una emergencia.

Teniendo en cuenta la importancia e innovación de estas herramientas en la gestión de riesgo de desastres, nace la necesidad de implementar esta tecnológica en el cuerpo de bomberos de la ciudad de Bogotá, para esto es necesario realizar modelamientos, controles y creación de criterios topológico, los cuales serán los criterios principales para este caso de estudio.

Luego de realizar las estimaciones de tiempos para accesibilidad a las 17 estaciones posteriormente se dará inicio a la aplicación de herramientas SIG que ayudaran con el modelamiento de acuerdo a las características topológicas.

Una vez determinadas estas variables se obtendrán las áreas de servicios de las estaciones de bomberos, determinando de los tiempos para atención de incidentes estimados, las cuales permiten identificar las zonas que en un tiempo de respuesta se puedan atender óptimamente las emergencias. De esta manera se podrá tener información confiable y técnica para determinar el aumento de la capacidad bomberil para la ciudad de Bogotá.



2. ANTECEDENTES

El distrito capital ha venido registrado eventos contingentes que son reiterativos, esto de acuerdo a la información obtenida de, página oficial de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, portal gestión del riesgo, registro de atención de Emergencias, información compilada desde el año 1998, fecha en la cual se evidencia el registro de los sucesos más representativos de atención, eventos que han sido soportados y atendidos por el cuerpo de Bomberos de la ciudad; a continuación relacionamos el listado de sucesos que se han presentado en Bogotá en cuanto emergencias y fueron asistidos por el cuerpo de Bomberos de Bogotá, algunos de estos son, incendio de cobertura vegetal, explosión, accidente transporte terrestre, vendaval, incendio estructural, movimiento en masa, inundación deslizamiento, accidente, incendio forestal, vendaval, colapso, tormenta eléctrica granizada, sismo entre otros.

Como se plantea en el documento, para el año 2019 según la base de datos de la UAECOB, se atendieron alrededor de 39000 emergencias en toda la ciudad capital. El tiempo de respuesta promedio para atender estos sucesos fue de 9 minutos 30 segundos; algunas de las variables que inciden en el aumento del tiempo de respuesta son, la extensión territorial, el tráfico de la ciudad, el aumento del parque automotor, el estado de la malla vial y limitantes arcifinios (humedales, ríos, etc.).

Como referencia sobre el estudio de alternativas para el diseño de un modelo de redes para la optimización de un servicio de respuesta del cuerpo oficial de bomberos de Bogotá, la universidad de Chile que para el año 2013, realizó una “tesis de magíster en gestión de operaciones y evaluación de tiempos de respuesta para el cuerpo de bomberos de Chile”, documento refiere la problemática en cuanto a los tiempos de respuesta de los cuerpos de bomberos para llegar a las zonas sensibles, situación que se presenta desde hace muchos años, para esto se identificaron estrategias y mejoramiento en los sistemas de información geográfico que busca resolver y mejorar la problemática en cuanto a tiempos de atención de respuesta más cortos. (Pizarro, 2013).



A nivel nacional, En Colombia estudios referentes sobre análisis de redes para cuerpos de bomberos es nulo, (Navarrete, 2015) desarrolla para obtener el título de especialista en Sistemas de Información Geográfica; una tesis de grado titulada “análisis espacial de las estaciones de bomberos en el área urbana del municipio Santiago de Cali para el año 2014, estimación de su cobertura y tiempo de respuesta.”, en el cual se da a conocer la distribución espacial que presentan las estaciones de bomberos en el municipio de Santiago de Cali, por medio de técnicas de estadística espacial como lo es el índice RN y el centro de gravedad simple, también se muestra a través de análisis de redes, y teniendo en cuenta distancia, tiempo y velocidad. La cobertura que presentan en servicio las estaciones de bomberos, teniendo en cuenta lo anterior, este análisis permitirá la toma de decisiones por parte del organismo municipal encargado de los cuerpos de socorro en el municipio de Cali.

A nivel local, no se encontraron referencias bibliográficas de estudio que mediante el análisis de redes determinen las áreas de servicios de los organismos de socorro de la capital, por tanto, el siguiente trabajo, buscar brindar una herramienta técnica para la UAECOB y analizar su comportamiento y mejorar su respuesta ante la atención de emergencias.



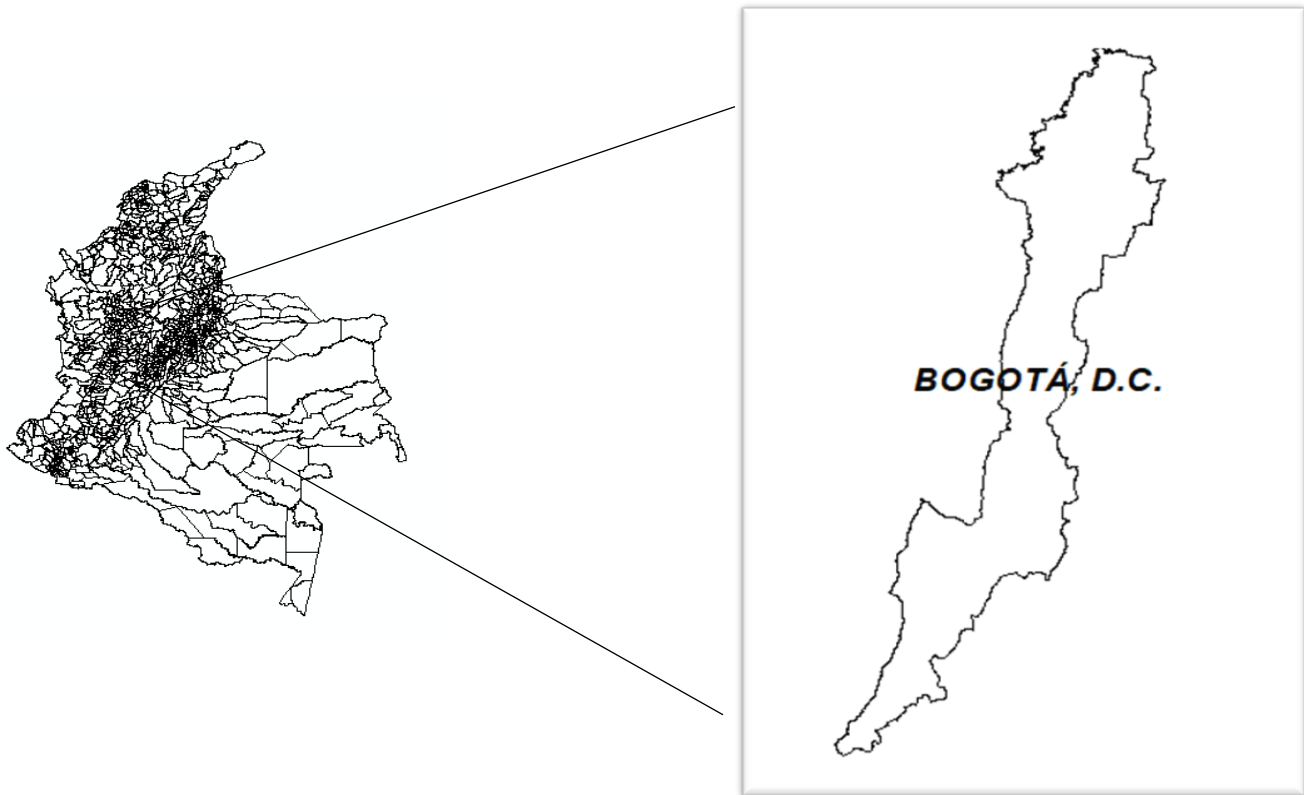
3. CONTEXTO GEOGRÁFICO

Bogotá, es la capital de la República de Colombia, esta se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de los Andes a una altitud de 2.650, sus puntos más altos hasta 4.050 msnm. Tiene un área total de 1776 km². Un área urbana de 380 km², su población es de cerca de 8 millones de habitante, lo que trae consigo la presencia de un número representativo de incidentes que generan riesgo para la población capitalina.

De acuerdo con el clima frio de montaña, su temperatura promedio es de 14°C. Los meses de más sequia se identifican para las épocas de enero, febrero, marzo y diciembre y los más lluviosos son abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre.

“En cuanto a sus límites, Bogotá limita al oriente con los municipios de Choachí, Chipaque, Une, Gutierrez, La Calera. El límite oriental de la Sabana de Bogotá lo constituye una cadena montañosa que forma parte de la cordillera de los Andes. Los cerros de Monserrate y Guadalupe, El santuario dedicado al Señor Caído de Monserrate”. (SocialHizo, 2020).

“Por el occidente, la ciudad limita con el río Bogotá y los municipios de La Cabrera, San Bernardo, Arbeláez, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota. Al sur, está flanqueada por las estribaciones del páramo de Sumapaz y al norte limita con Chía, uno de los poblados más cercanos y gratos, también se localizan los terrenos agrícolas de la Sabana”. (SocialHizo, 2020)



Mapa 1. Contexto Geográfico Bogotá

4. MARCO TEORICO

La aplicabilidad de los sistemas de información geográfica puede ayudar a optimizar los procesos de atención de los cuerpos de bomberos y mejorar así los tiempos de atención. Mediante la aplicación de modelos geográficos se pueden garantizar dichas mejoras, las cuales determinan las áreas con las cuales se deben garantizar la ubicación de un equipamiento, que garantice la pronta atención ante una emergencia.

Los modelos geográficos, según (SEGUÍ PONS, 2003), obedecen a la necesidad de simplificar la realidad donde se facilite el entendimiento de esta. Estos modelos son estructuraciones donde se realzan aspectos fundamentales pueden mejorar los tiempos

de respuesta, para esto es necesario hacer un análisis de redes donde según (SEGUÍ PONS, 2003),

“El análisis de redes se centra en el estudio de la distancia, la accesibilidad y la interacción espacial, situación que se obtiene por medio del análisis y tratamiento de los flujos y de las jerarquizaciones territoriales que estos establecen”, por otra parte, (ESRI -BOSQUE, 1992), afirma que; “el análisis de redes, permite plantear y resolver un amplio conjunto de problemas prácticos como son: la determinación de rutas óptimas para vehículos que deben moverse en una red de carreteras, la localización de servicios e instalaciones (por ejemplo urgencia médica) de modo eficaz en cuanto a costes de recorridos para su empleo por los usuarios, la delimitación de distritos y áreas de influencia, la asignación de caminos de distribución de un producto a los almacenes existentes, etc. (Ospina, 2009)

Según (Martínez, 2007) una de las preguntas más frecuentes que se pueden responder por medio de un análisis de redes en un SIG, la plantea ¿Cuál es el camino óptimo? El sistema puede calcular el camino más óptimo teniendo en cuenta sus impedancias que puede ser tiempo (es la manera fundamental para evaluar la red sus factores son: características del vehículo, el tipo de normativa que regula las velocidades máximas de los flujos, congestión vehicular, condiciones climáticas y la experticia del conductor.), la distancia (permite de manera rápida tener opciones para el desplazamiento de una red vial sus factores depende de: distancia real y distancia planimetría) y costos de traslado.

También puede ser interesante estudiar simultáneamente todos las aristas y nodos de una red. Es posible calcular en general la facilidad o dificultad con la que cualquier flujo podrá pasar a través de una red mediante el análisis de su cohesión topológica, también denominada conectividad (Davis, 2001).

- la longitud media: $\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$;
- la densidad de aristas: $\rho = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{A}$, siendo $A = \text{Área Total cubierta por la Red}$;
- o la frecuencia de líneas: $v = n / A$

Ilustración 1. Cálculo para determinar una red, según (Bosque Sendra, 2000).

La conectividad de una red depende de la longitud de sus aristas y del número de nodos que la componen. Han sido desarrollados diversos indicadores relacionados con la medición de la conectividad de una red (Bosque Sendra, 2000).

Bajo esto existen diversos indicadores que proporcionan una evaluación general cuantitativa de toda una red, y permiten además un análisis comparativo entre distintas redes. Los estadísticos derivados de la información de distancias de todas las aristas de una red pueden servir para evaluar la densidad de una red o tener una idea general de la longitud de sus aristas. De una red determinada es posible calcular (Bosque Sendra, 2000),

En las aplicaciones de asignación se indica la posición de las distintas instalaciones o centros de los que puede provenir un flujo determinado; el procedimiento asigna a cada componente lineal de la red uno de esos centros de flujo. De esta forma se consigue un reparto eficiente del flujo a lo largo de la red. El conjunto de elementos lineales asignados a un centro de flujo se denomina el área de servicio de ese centro.

Esta operación se parece bastante a la realización de un buffer, aunque en este caso se tiene en cuenta la información de varios puntos de servicio a la vez y se realiza según las características de la red. De hecho, el SIG no construye un área poligonal sino un árbol alrededor de cada punto (Tomlinson, 2003); esta estructura en forma de árbol es el camino más corto en tiempo o coste.



Una vez que los puntos, o centros de demanda, se encuentran localizados – en una operación de ubicación o situación (location) –, es posible identificar los componentes lineales de una red que pueden llevar a dicho centro – asignación a un centro (allocate in) – o a los que se puede llegar desde el centro – área de servicio (allocate out) .

Las operaciones de asignación a un centro identifican las líneas de un circuito que deben ser utilizadas para transportar personal o materiales hasta cada centro de demanda identificado (Vehiculos de emergencia/Incidente x lugar); en ejemplo de este tipo de operación puede ser la asignación de los diferentes alumnos a cada escuela de una ciudad, o la organización de rutas para el transporte de dichos alumnos.

Por el contrario, la generación de un área de servicio identifica los elementos vectoriales de una red que deben ser utilizados para distribuir desde un centro determinado; es un análisis típico de reparto de áreas de servicio entre las pizzerías o las oficinas de correos que se encuentran en una ciudad. El área de servicio de un centro depende de la accesibilidad de cada punto de la red a las actividades de sus instalaciones (Davis, 2001).

La accesibilidad puede ser definida como la facilidad para alcanzar la oferta existente sobre un determinado bien o servicio, cuando esta oferta no se reparte uniformemente dentro del área que cubre la red. Por lo tanto, el concepto de accesibilidad está íntimamente relacionado con el concepto de distancia entre la oferta y la demanda, por lo que su cálculo difiere de la misma forma entre un análisis de redes y un cálculo convencional de accesibilidad en SIG.

El área de servicio puede entonces depender de la oferta de un determinado bien en cada punto de la red, de los horarios y disponibilidad temporal de cada uno de los servicios ofrecidos, o de la propia demanda del centro para el que se establece el área de servicio (Bosque Sendra, 2000).

Medidas de la accesibilidad basadas únicamente en la distancia: son de uso común en el establecimiento de áreas de servicio de emergencias hospitalarias, bomberos, o áreas de reparto de correo, ya que cualquiera puede utilizar el servicio sin que exista ninguna limitación en la oferta.

Por lo tanto, la accesibilidad (A_i) de un centro de demanda i , es equivalente a la distancia (D_{ij}) entre dicho centro y el punto de oferta más cercano j : $A_i = D_{ij}$. También es posible tener en cuenta la posición del centro de demanda respecto a todos los puntos de oferta disponibles en la red, expresándola como la suma

$$A_i = \sum_{j=1}^n D_{ij}, \text{ o la media: } A_i = \frac{\sum_{j=1}^n D_{ij}}{n}.$$

Ilustración 2. Ecuación punto de oferta más cercano.

El área de servicio de una instalación se construye a partir de la accesibilidad total (A_t) de ese centro de demanda hasta cada punto de la red. A_t se obtiene sumando todas las mínimas distancias ($DMIN_{ij}$) – el camino más corto – desde las instalaciones de demanda i a cada punto de oferta j , y multiplicándolo por el valor de la demanda en dicha instalación (De_i).

Por otra parte, en los trabajos realizados por (ESRI, GIS for Fire Station Locations and Response Protocol, 2007), en el cual establece los SIG como las mejores herramientas, técnicas y métodos emergente que están ayudando al servicio de bomberos a optimizar la prestación de servicios de emergencia. Los SIG apoyan la planificación, preparación, mitigación, respuesta y gestión de incidentes de los cuerpos de bomberos a nivel mundial.

Por último, (ESRI, GIS Technology and Applications for the Fire Service, 2006), plantea el desarrollo de la tecnología SIG como una herramienta poderosa para mejorar todos los aspectos de tiempos de respuesta a los servicios que atienden los cuerpos de bomberos. Los SIG y sus herramientas contribuyen a la velocidad con que los respondientes a las emergencias pueden localizar, responder, evaluar y desplegar en una emergencia.



4.1. 7.1 MARCO CONCEPTUAL

Base cartográfica. La base cartográfica para realizar el análisis fue obtenida de la página web4 del IDECA- Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital- la cual recopila información geográfica de distintas entidades del distrito con el fin de proporcionar herramientas de planeación. “El Mapa de Referencia para el Distrito Capital contiene el conjunto organizado de datos espaciales BÁSICOS requeridos por la mayoría de las entidades de Bogotá, útil para la toma de decisiones en beneficio de la ciudad y sus habitantes y para la generación de objetos geográficos temáticos. Conjuntamente, las entidades responsables en la custodia de esta información básica actualizan el Mapa de Referencia trimestralmente” (IDECA, 2015).

Red. Según (VANEGAS , 2005) una red es un conjunto de puntos (nodos) unidos por arcos (ramas), y para describir una red se utiliza la anotación de (N, A) donde n es el número de nodos y a el número de arcos, puntos y arcos que “forman una estructura espacial por la que puede pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías, energía, información“ (ESRI -BOSQUE, 1992).

Nodos. Los nodos están conformados por puntos de origen y puntos de intercambio (ciudades, puertos, aeropuertos o centros de zona - denominados centroides, si trabajamos a una escala urbana, a los que se les atribuyen las características del área que representan) (Ospina, 2009).

Impedancia de Distancia. Permite de manera rápida tener opciones para el desplazamiento de una red vial su factor depende de: 1. Distancia real 2. Distancia planimetría.

Impedancia de Tiempo. El tiempo es la manera fundamental para evaluar la red sus factores son: 1. Características del vehículo 2. El tipo de normativa que regula las velocidades máximas de los flujos 3. Congestión vehicular 4. condiciones climáticas 5. (Martínez, 2007).

Análisis de redes. El objetivo principal del análisis de redes, es el estudio de la distancia y accesibilidad, donde permite dar solución a las problemáticas en la construcción de la



ruta óptima para vehículos. Donde pueden pasar flujos de personas, mercancías, energía, información, transporte y acueductos. (Ospina, 2009)

Atributo: Característica propia e implícita que describe a cada uno de los tipos de objetos catastrales, asignándole propiedades y comportamientos; pueden tomar valores particulares en cada instancia de objeto. (IGAC, 2016).

Catálogo de Objetos: Primera aproximación a una representación abstracta y simplificada de la realidad en una estructura que organiza los tipos de objetos espaciales, sus definiciones y características (atributos, relaciones y operaciones).

Nota: La información del catálogo de objetos para un conjunto de datos puede consistir en un catálogo de los objetos internos y/o una referencia de uno o más catálogos externos a los objetos. (IGAC, 2016).

Conjunto de datos: Grupo de datos geográficos relacionados, que han sido capturados o generados de acuerdo a especificaciones técnicas previamente determinadas. (IGAC, 2016).

Datos geográficos: Información acerca de algún elemento ubicado sobre o debajo de la superficie terrestre. (IGAC, 2016).

Información Geográfica: Según el documento CONPES 3585, se considera como información geográfica “[...] al conjunto de datos que posee un componente geométrico espacial, que describe la localización de los objetos en el espacio y las relaciones espaciales entre ellos. También se entiende como información geográfica al producto de la georreferenciación de bases de datos temáticas que posean atributos geográficos, como las imágenes de sensores remotos satelitales y aerotransportados, la información de cartografía marítima y aeronáutica y los levantamientos geodésicos, entre otros.” (IGAC, 2016).

Área: Es una medida de extensión de una superficie, expresada bajo el estándar del sistema internacional de unidades. (IGAC, 2016).

Coordenada: Cada una de las magnitudes que determinan la posición de un punto en un sistema de referencia. (IGAC, 2016).

MAGNA-SIRGAS: Es la densificación de SIRGAS, y por tanto del marco internacional de referencia -ITRF- en Colombia. Está compuesto de un conjunto de estaciones con coordenadas geocéntricas [X Y Z] de alta precisión y cuyas velocidades [VX, VY, VZ] (cambio de las coordenadas con respecto al tiempo) son conocidas; dichas estaciones conforman la materialización del sistema de referencia global para Colombia. Sus coordenadas época 2018.4. Está constituido por estaciones pasivas y de funcionamiento continuo. Resolución 068 de 2005, IGAC. (IGAC, 2016).

Manejo de desastres: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación pos desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

Conocimiento del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

Marco de Sendai: El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 se adoptó en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en



Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015. Este es el resultado de una serie de consultas entre las partes interesadas que se iniciaron en marzo de 2012 y de las negociaciones intergubernamentales que tuvieron lugar entre julio de 2014 y marzo de 2015, con el apoyo de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, a petición de la Asamblea General de las Naciones Unidas.

MATPEL: Materiales peligrosos, incidentes que se clasifican en categoría que manejan químicos y/o materiales considerados peligrosos como los biológicos.

4.2. 7.2 MARCO NORMATIVO.

En Colombia las situaciones de vulnerabilidad han enmarcado normatividades orientadas a fortalecimiento de la Gestión del Riesgo, y los escenarios que puedan generar desastres; para nuestro caso de estudio encontramos que:

Para el año 2012 se emiten normativas muy enfocadas a la gestión del riesgo y mitigación del escenario de población vulnerable.

Ley 1523 de 2012. *“Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”* (Velilla, 2012), En su capítulo III sistemas de información, art 45, numeral 4, *“Contribuir a la generación de los elementos de información e interacción para el seguimiento de las amenazas, vulnerabilidades y riesgos del país”* (Velilla, 2012), información que se encuentra orientada en la búsqueda de sistema que ayuden con la reducción del riesgo, para el caso de estudio estaría orientado al mejoramiento de la atención de los incidentes de cuerpo de bomberos de la ciudad de Bogotá.

Ley 1575 de 2012, Por medio del cual se establece la ley general de bomberos, enmarcada en la gestión del riesgo de sastres, en su artículo 1 *“En cumplimiento de esta responsabilidad los organismos públicos y privados deberán contemplar la contingencia*



de este riesgo en los bienes muebles e inmuebles tales como parques naturales, construcciones, programas de desarrollo urbanístico e instalaciones y adelantar planes, programas y proyectos tendientes a disminuir su vulnerabilidad". (COLOMBIA C. D., 2012) Ley que se encuentra orientada a la reducir la vulnerabilidad; proceso que se reflejaría con la elaboración de un sistema de información que reduce los tiempos de atención y disminuiría la vulnerabilidad de las poblaciones y reduce los escenarios de riesgo.

Ley 388 del 1997: Por medio de la cual se modifica la Ley 9a. de 1989, y la Ley 3a. de 1991 y se dictan otras disposiciones. En esta norma se señala que en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, los municipios deberán tener en cuenta, entre otras determinantes que se constituyen en normas de superior jerarquía, la prevención de amenazas y riesgos naturales, que incluye: Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención y amenazas de riesgos naturales; el señalamiento y localización de áreas de riesgo para asentamientos humanos; las estrategias para el manejo de áreas expuestas amenazas y riesgos naturales. Ley 388, (NACIONAL, 1997)

Acuerdo 546 de 2013: "Por el cual se transforma el Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias SDPAE, en el Sistema Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático SDGRCC, se actualizan sus instancias, se crea el Fondo Distrital para la Gestión de Riesgo y Cambio Climático "FONDIGER" y se dictan otras disposiciones. (BOGOTA, 2013).

Decreto 172 de 2014: Por el cual se reglamenta el Acuerdo 546 de 2013, (ALCALDE DE BOGOTA GUSTAVO PETRO, 2014), se organizan las instancias de coordinación y orientación del Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático SDGR-CC y se definen lineamientos para su funcionamiento. Artículo 7º-. Instrumentos de Gestión de Riesgos y Cambio Climático: Son los instrumentos básicos que articulan políticas y definen los programas, proyectos, actividades y protocolos, sus responsables, los recursos requeridos, resultados y metas esperados, para el logro de los objetivos del Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, así:



1. Plan de Ordenamiento Territorial.
2. Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas de Bogotá.
3. Plan Distrital de Gestión de Riesgos.
4. Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático.
5. Estrategia Distrital de Respuesta.
6. Planes Locales de Gestión de Riesgos.

Resolución 603 de 2015: Por la cual se adopta la Estrategia Institucional de Respuesta del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático – IDIGER. (IDIGER, 2015)

Acuerdo 645 de 2016: Por el cual se adopta el Plan de Desarrollo económico, social y ambiental y de obras públicas para Bogotá D, C, 2016 2020, "Bogotá Mejor para Todos". Y en el cual establece "Mejoramiento en la atención de emergencias de la ciudad con el fin Disminuir a 8:30 minutos Tiempo promedio de respuesta en servicios Incendios, Incidentes con Materiales Peligrosos – Matpel, Rescates y Explosiones (IMER) y aumento en 2 las estaciones de bomberos en Bogotá y estación forestal de bomberos sujeta al proyecto del sendero ambiental en los cerros orientales." (CONCEJO DE BOGOTÁ , 2016).

Decreto 619 DE 2000: Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital. (C., 2000).



5. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y estructurar mediante un sistema de información geográfica, un modelo de análisis de redes para las estaciones de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, con el cual se brindará una herramienta técnica para determinar el aumento de la capacidad de atención bomberil para la ciudad de Bogotá.

5.1. 8.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos.

Definir las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones del cuerpo oficial de bomberos de Bogotá.

Proponer la optimización del servicio de respuesta del cuerpo de Bomberos de Bogotá mediante la localización de dos nuevas estaciones.

6. METODOLOGIA

6.1. 9.1 TIPO MONOGRAFÍA

Una monografía, según (Schafer, 2009), es un informe escrito, relativamente extenso, argumentativo, con función informativa, en el cual se presentan y organizan los datos acerca de una determinada temática, obtenidos de diversas fuentes.

La misma debe contar con un objeto de estudio bien delimitado, para así poder investigar, descubrir y reunir la información pertinente sobre el tema elegido. Luego, hay que enunciar la hipótesis sobre la que va a girar el trabajo, y brindar elementos que afirmen o nieguen esas hipótesis de manera crítica. La monografía debe tener un lenguaje preciso, claro y estar redactada correctamente.



La siguiente monografía es de tipo investigativa, ya que busca realizar mediante la aplicación de un modelo SIG, la optimización de la prestación de servicio de la UAECOB, definiendo sus tiempos de respuestas, las áreas de cubrimiento de las 17 estaciones de bomberos y la posible ampliación de capacidades del organismo de socorro.

6.2. 9.2 DESARROLLO METODOLÓGICO

- Determinación de la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos, mediante el uso de herramientas SIG.

Con el fin de realizar el modelamiento, se pretende a partir de la base cartográfica, en este caso de la red vial de Bogotá, generar un control topológico, el cual permite que el margen de error del modelamiento sea mínimo, una vez realizado este control topológico, se establece el análisis de redes, mediante las herramientas de Network Data Set, Ver Ilustración 1.

En primer lugar, la información será descargada del portal de datos abiertos del distrito capital, en este se recopila toda la información oficial de carácter geográfico de Bogotá, una vez descargada esta información, más exactamente la red vial de Bogotá, se procede a crear las GDBs (Geodatabases) en las cuales se van a correr los modelos de análisis de redes y de esta manera definir los tiempos de respuesta de las estaciones de bomberos.

Para garantizar que el resultado sea el deseado, a esta red vial almacenada en las GDBs, se debe generarle un control topológico con el fin de mostrar relaciones topológicas, errores y excepciones, las cuales permiten una mayor exactitud y calidad del modelo, definidas las reglas topológicas, se crean los criterios matemáticos para obtener las áreas de servicios, es decir las zonas por las cuales dichas estaciones de bomberos pueden desplazarse en un tiempo de respuesta definido.

Obteniendo estos resultados y validando dichos datos, se procede a realizar el modelamiento mediante las herramientas de análisis de redes disponibles en el software Arcgis.

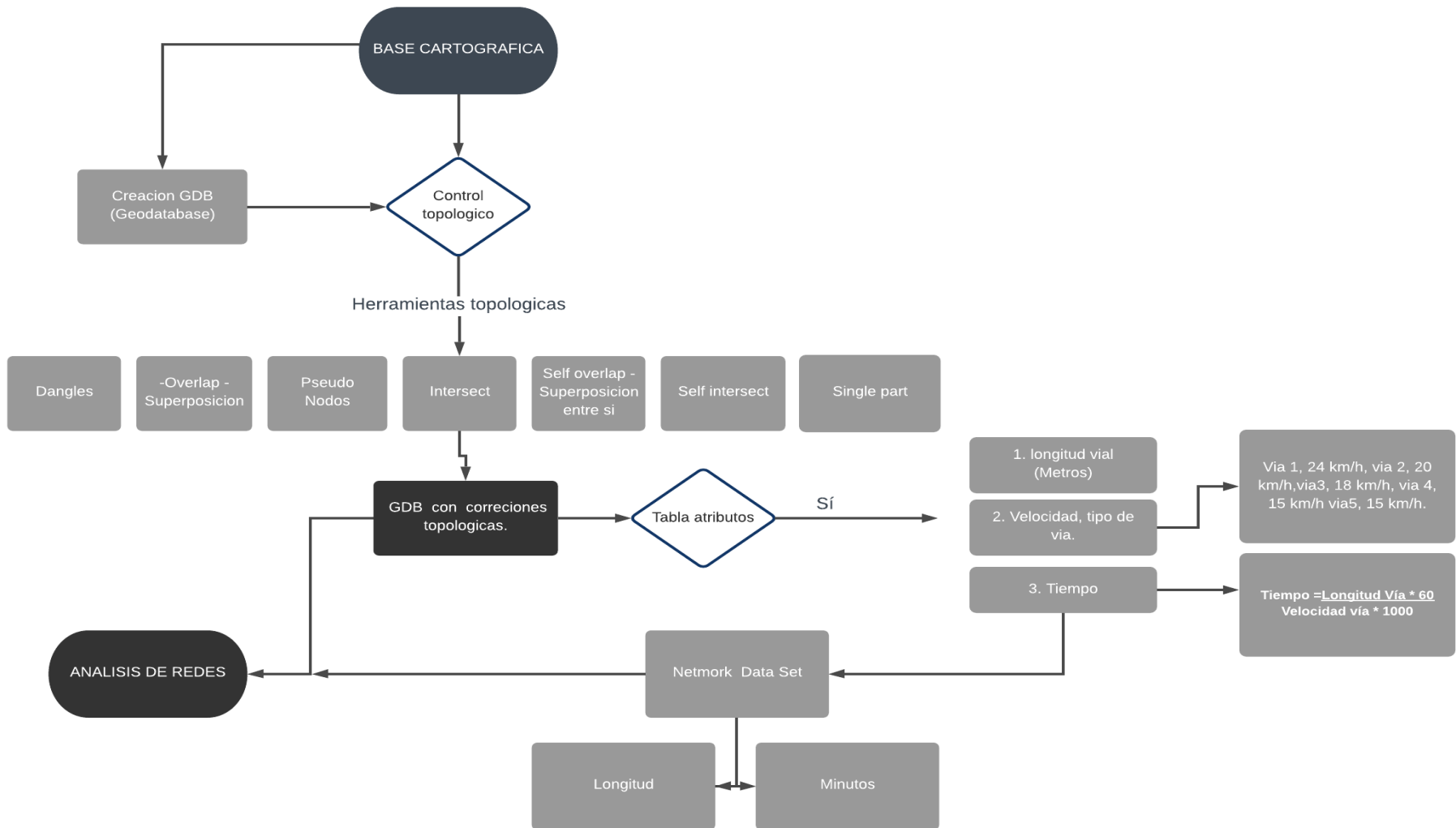


Ilustración 3..Metodología para la Determinación de la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos, mediante el uso de herramientas SIG



- Definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

Realizado el control topológico, se inicia la validación del Network data Set, este permite establecer los criterios del modelamiento, definidos estos, el siguiente paso, es crear el Network Analyst, con el fin de determinar las áreas de cubrimientos de las estaciones de bomberos, esto a partir de la GDB con correcciones topológicas y el network dataset.

Validada la creación del network dataset, se eligen las localizaciones para determinar las áreas de servicios, en este caso se elige la capa de las 17 estaciones de bomberos de la UAECOB, que se encuentra en formato Shapefile tipo punto.

Definido esto y con los anteriores pasos validados, se procede determinar de las áreas de servicios, para un tiempo de respuesta de entre 1 a 7 minutos, se define este criterio de tiempo, debido a que es el tiempo de respuesta promedio de atención de la Unidad administrativa cuerpo oficial de bomberos de Bogotá y que corresponde a un tiempo de respuesta óptimo y acorde con los tiempo de respuesta de referentes internacionales, como los son los cuerpos de bomberos de New york, Londres, Paris, México y entre otros.

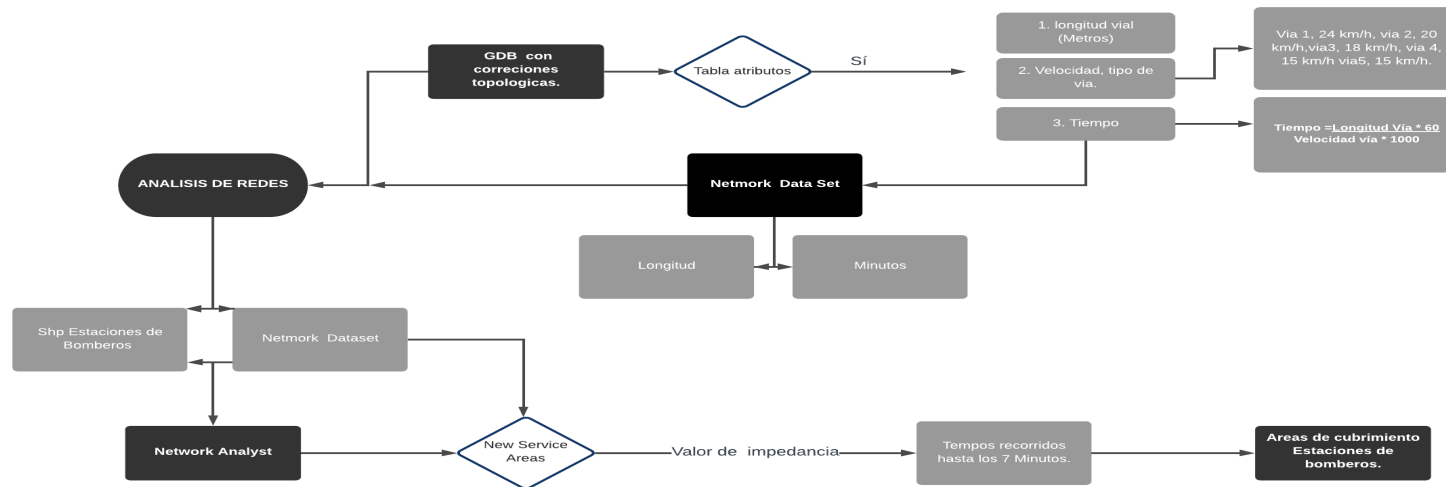


Ilustración 4. Metodología para la definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

- Propuesta de ubicación de estaciones de bomberos, con el fin de dar un óptimo cubrimiento por parte de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

Realizado los controles topológicos y los modelos de análisis de redes, se procede a realizar la selección la ubicación óptima para establecer un nuevo equipamiento bomberil para la ciudad de Bogotá.

Este criterio se realiza teniendo en cuentas las áreas de servicio y las zonas donde por tiempo de respuesta en el modelamiento no se cubre, a su vez sumado a esto se tienen en cuenta criterios como el aumento densidad poblacional de algunas localidades y las zonas donde más se presentan emergencias en la capital “Heat maps UAECOB”.

La proyección de necesidades futuras, prioriza la construcción de las estaciones B-18 y B-19. Esto generaría una disminución tangencial en los tiempos de respuesta, ya que actualmente se evidencia un aumento tangencial en la atención de las emergencias por parte del cuerpo de bomberos.

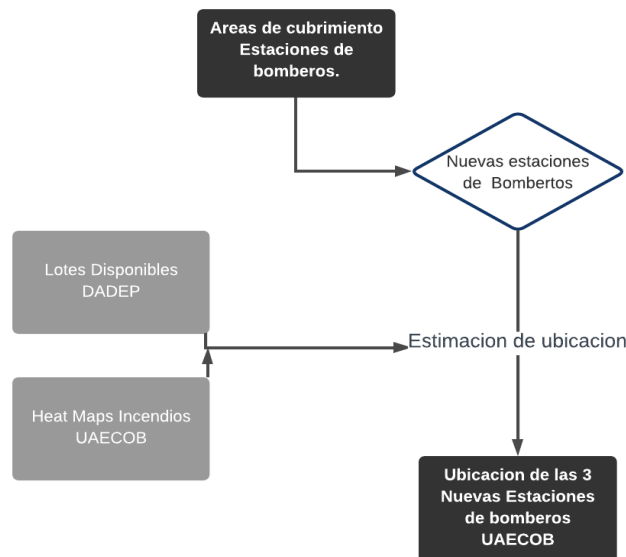


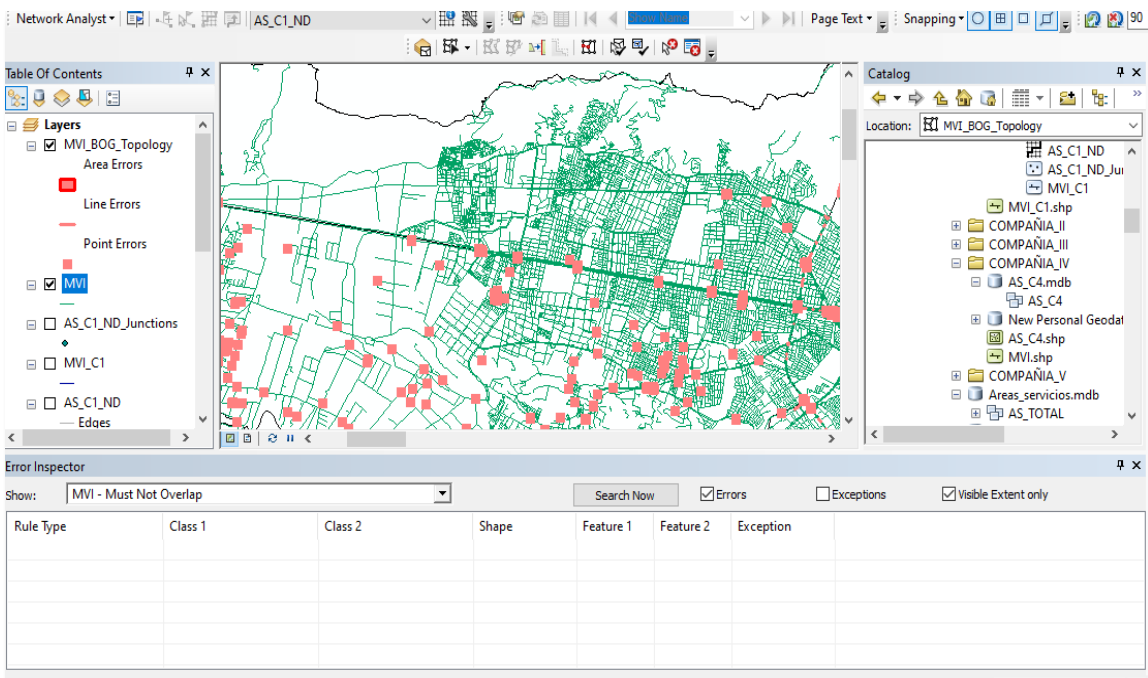
Ilustración 5. Metodología para la ubicación de estaciones de bomberos, con el fin de dar un óptimo cubrimiento por parte de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

7. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la presente monografía en términos de sus objetivos:

7.1. Determinación de la accesibilidad de las estaciones de bomberos de Bogotá en un tiempo de respuesta de 7 minutos, mediante el uso de herramientas SIG.

Con el fin de determinar la accesibilidad de las 17 estaciones de bomberos en un tiempo de respuesta de 7 minutos, se pudo establecer que los controles topológicos juegan un valor muy importante en la validación de los modelos, sin este paso no se podría llegar a obtener con exactitud los tiempos de respuesta de las 17 Estaciones de bomberos, mediante la inspección de errores, podemos obtener una capa con una calidad de 100%, lo que permite un bajo margen de error en el modelamiento.



Mapa 2.Capa con una calidad



A su vez, con el fin de establecer el valor de la Impedancia (el costo en llevar un recurso de un extremo del segmento (Estación de Bombero) al otro extremo (incidente). Se estableció que, para calcular el valor de este, la ecuación aplicada para definir el valor de resistencia aparente y así establecer las áreas de cubrimiento según tiempo de respuesta en la columna tiempo es la siguiente:

$$T (\text{min}) = \frac{\text{longitud (min)} * 60}{\text{Vel (km/h)} * 1000}$$

1h: 60 min
1km: 1000 m

$$= \text{Longitud} * 0.06 / \text{Vel (km/)}$$

De esta manera y con el criterio matemática anterior mente expuesto, se pudo obtener el resultado esperado, permitiendo definir los tiempos de respuesta de cada una de las 17 estaciones de bomberos.

7.2. Definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

Una vez obtenido el resultado de la estimación de la accesibilidad de las 17 estaciones de bomberos en un tiempo de respuesta de 7 minutos, se procede a realizar las áreas de cubrimiento de estas mismas, esto con el uso de las herramientas SIG.

La siguiente tabla es el resultado obtenido para cada una de las 17 estaciones de bomberos de la UEACOB, en ella se detalla el área de cubrimiento estimado en el modelamiento de 1 a 7, a su vez el área de jurisdicción correspondiente a la estación y un porcentaje de cubrimiento entre, áreas de modelamiento frente a la jurisdicción. En los Anexo también se detallan los mapas de cada una de estas estaciones de bomberos, donde se visualiza a su vez el cálculo de las áreas de servicios para un tiempo de 1 a 7 minutos, según variables de tiempo, longitud, velocidad y malla vial, para cada una de las 17 estaciones de bomberos de la UAECOB.



ESTACION DE BOMBEROS	NOMBRE ESTACION DE BOMBEROS	TIEMPO DE RESPUESTA MODELAMIENTO O (Min)	AREA DE CUBRIMIENTO O POR MINUTO (Hec)	AREAS CUBRIMIENTO TOTAL MODELAMIENTO (Hec)	AREA JURISDICCION ESTACION (Hec)	PORCENTAJE DE CUBRIMIENTO SEGUN MODELAMIENTO/ JURISDICCION ESTACION
B1	CHAPINERO	7	346,767068	1226,813679	4775,428374	25,7 %
		6	271,179154			
		5	228,531753			
		4	177,528174			
		3	126,808362			
		2	58,065536			
		1	17,933632			
B2	CENTRAL	7	343,161483	1147,612684	1337,053631	85,8 %
		6	282,869006			
		5	206,071209			
		4	143,14187			
		3	98,458872			
		2	56,010537			
		1	17,899707			
B3	RESTREPO	7	329,353293	1271,730935	1600,860219	79,4 %
		6	288,596786			
		5	245,071921			
		4	178,836292			
		3	133,502973			
		2	76,696832			
		1	19,672838			
B4	PUENTE ARANDA	7	262,168412	991,73268	2149,544421	46,1 %
		6	194,08195			
		5	210,327744			
		4	169,692465			
		3	92,572857			
		2	47,470005			
		1	15,419247			
B5	KENNEDY	7	326,859247	1054,069778	3390,626307	31,1 %
		6	233,544582			
		5	194,837613			
		4	135,665609			
		3	93,866113			
		2	52,706134			
		1	16,59048			
B6	FONTIBON	7	180,269761	734,538075	2896,868061	25,4 %



ESTACION DE BOMBEROS	NOMBRE ESTACION DE BOMBEROS	TIEMPO DE RESPUESTA MODELAMIENTO (Min)	AREA DE CUBRIMIENTO O POR MINUTO (Hec)	AREAS CUBRIMIENTO TOTAL MODELAMIENTO (Hec)	AREA JURISDICCION ESTACION (Hec)	PORCENTAJE DE CUBRIMIENTO SEGÚN MODELAMIENTO/ JURISDICCION ESTACION
		6	165,449236			
		5	139,416783			
		4	95,901958			
		3	73,80038			
		2	62,744315			
		1	16,955642			
B7	FERIAS	7	227,656263	1061,395846	2987,045348	35,5 %
		6	200,359865			
		5	227,63369			
		4	188,245687			
		3	129,143848			
		2	69,161862			
B8	BOSA	7	195,589477	724,297882	2496,977294	29,0 %
		6	150,567011			
		5	124,186459			
		4	108,598364			
		3	77,804862			
		2	48,619169			
		1	18,93254			
B9	BELLAVISTA	7	252,289374	941,818253	4609,326156	20,4 %
		6	201,0639			
		5	179,758813			
		4	140,178503			
		3	95,210863			
		2	58,909577			
B10	MARICHUELA	7	226,668611	788,315935	98714,75778	0,8 %
		6	163,045664			
		5	137,31721			
		4	126,006773			
		3	80,030795			
		2	42,497715			
		1	12,749167			
B11	CANDELARIA	7	315,873409	1076,46737	13205,34923	8,2 %
		6	251,146442			
		5	198,45669			
		4	147,843708			



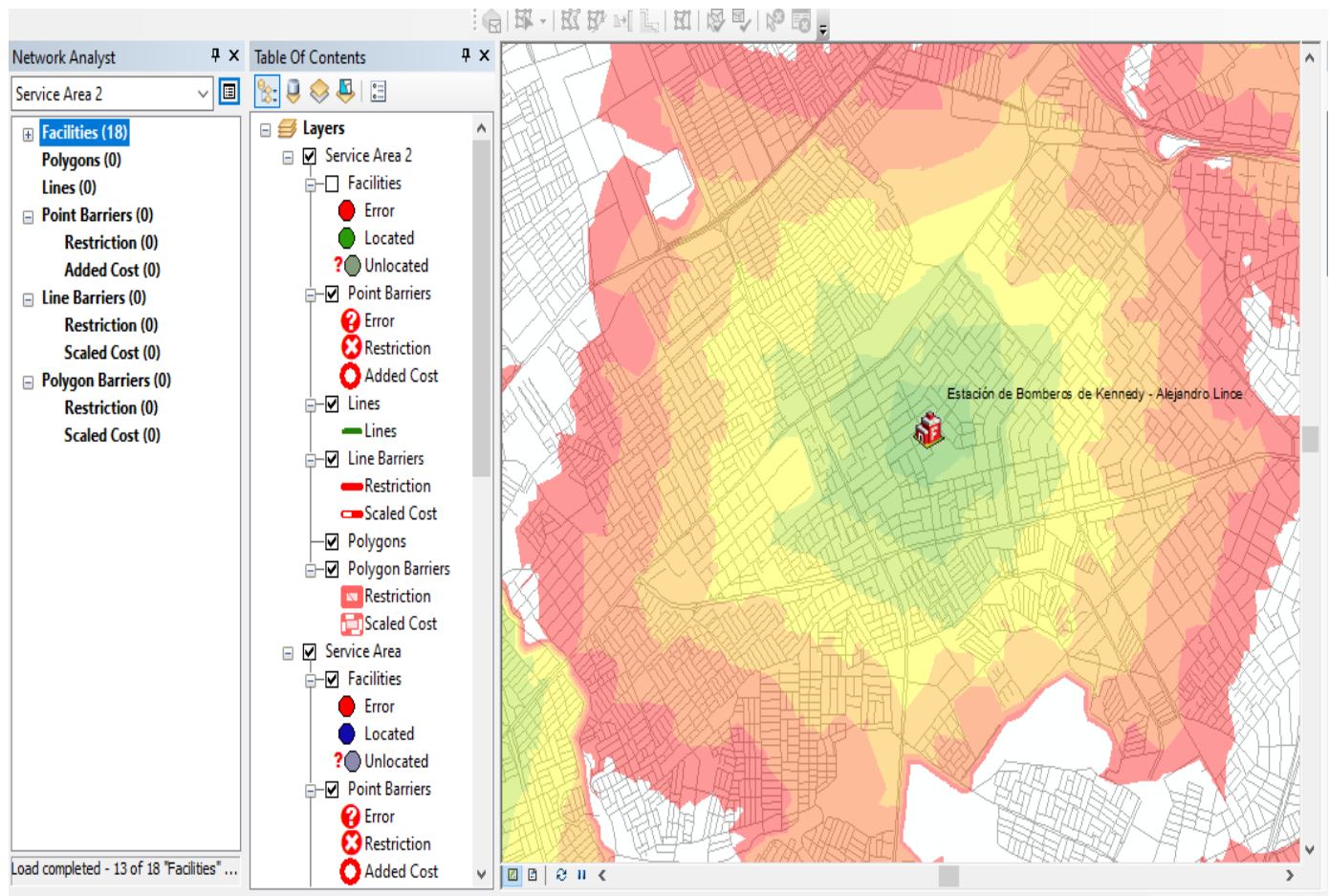
ESTACION DE BOMBEROS	NOMBRE ESTACION DE BOMBEROS	TIEMPO DE RESPUESTA MODELAMIENTO (Min)	AREA DE CUBRIMIENTO O POR MINUTO (Hec)	AREAS CUBRIMIENTO TOTAL MODELAMIENTO (Hec)	AREA JURISDICCION ESTACION (Hec)	PORCENTAJE DE CUBRIMIENTO SEGÚN MODELAMIENTO/ JURISDICCION ESTACION
		3	94,335143			
		2	53,433381			
		1	15,378597			
B12	SUBA	7	132,305536	614,773422	4227,355664	14,5 %
		6	128,137416			
		5	126,047537			
		4	109,239933			
		3	55,30561			
		2	45,014555			
		1	18,722835			
B13	CAOBOS	7	266,009015	965,068488	6531,542944	14,8 %
		6	202,918524			
		5	167,572746			
		4	156,470663			
		3	107,899876			
		2	52,477757			
		1	11,719907			
B14	ESTACION BICENTARIO	7	288,692011	982,073588	5031,675715	19,5
		6	200,726971			
		5	179,655255			
		4	151,339923			
		3	98,314694			
		2	50,408774			
		1	12,93596			
B15	GARCES NAVAS	7	144,822843	710,835404	2280,77268	31,2
		6	142,808521			
		5	150,343384			
		4	131,478131			
		3	90,556081			
		2	39,206631			
		1	11,619813			
B16	VENECIA	7	240,72125	949,063443	1264,4341	75,1 %
		6	222,060574			
		5	184,659306			
		4	144,39546			
		3	85,567823			
		2	53,063609			
		1	18,595421			



ESTACION DE BOMBEROS	NOMBRE ESTACION DE BOMBEROS	TIEMPO DE RESPUESTA MODELAMIENTO O (Min)	AREA DE CUBRIMIENTO O POR MINUTO (Hec)	AREAS CUBRIMIENTO TOTAL MODELAMIENTO (Hec)	AREA JURISDICCION ESTACION (Hec)	PORCENTAJE DE CUBRIMIENTO SEGÚN MODELAMIENTO/ JURISDICCION ESTACION
B17	CENTRO HISTORICO	7	191,68265	802,159309	6160,430277	13,0 %
		6	157,486505			
		5	133,123316			
		4	132,974338			
		3	108,70087			
		2	61,552655			
		1	16,638975			

Tabla 1. Resultado de las áreas de cubrimiento según el modelamiento de análisis de redes, frente al área de cubrimiento de las 17 estaciones de bomberos de la UAECOB

A su vez, se obtuvieron los mapas de los tiempos de respuesta Ver Mapa 6, donde se evidencia la distancia aproximada que puede recorrer un vehículo de bomberos, en un tiempo entre 01 y 07 minutos, es decir, las áreas de los colores verde hasta el rojo; así mismo se puede observar que las áreas sin color corresponden a las zonas que el tiempo de respuesta es mayor a 07 minutos es decir, áreas en las que se invierte un mayor tiempo en la atención de los incidentes que ocurran en estas áreas.



Mapa 3. Mapa de las 17 estaciones de bomberos, evidenciando la distancia aproximada que puede recorrer un vehículo de bomberos, en un tiempo entre 01 y 07 minutos, es decir, las áreas de los colores verde 1 minuto, hasta el rojo 7 minutos.

7.3. Propuesta de ubicación de estaciones de bomberos, con el fin de dar un óptimo cubrimiento por parte de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

La necesidad de proyectar el aumento de nuevas estaciones de Bomberos para la UAECOB, nace con el fin de dar una respuesta adecuada y permitir atender el servicio público esencial, de manera segura y eficiente, garantizando la protección de la vida, el ambiente y el patrimonio de la población; aproximándose a los estándares internacionales, los cuales sumados al análisis de factores exógenos esbozados inicialmente, inciden en el aumento del tiempo de respuesta y aunado al conocimiento

adquirido a través del tiempo por expertos profesionales en manejo y reducción del comportamiento de los riesgos.

Frente a esto y siguiendo los argumentos técnicos anteriormente expuestos, el modelamiento realizado mediante análisis de redes y garantizando mejora en el tiempo de atención para la UAECOB, se concluye, que, en un corto plazo, se debe contemplar la ubicación de las nuevas estaciones: B-18 en la calle 113 con Avenida 9 Sector Santa Barba, Localidad de Usaquén y B-19 en la calle 41 sur con carrera 89 C, Sector Dindalito, Localidad de Kennedy.

Gráfica No.14. Lote Futura Estación B-19 Sector Dindalito, Localidad Kennedy



Grafica 1.Lote Futura Estación B-18 Sector Santa Barba, Localidad Usaquén

Gráfica No.15. Lote Futura B-18 Sector Santa Barba localidad Usaquen



Grafica 2.Lote Futura Estación B-18 Sector Santa Barba, Localidad Usaquén

De esta manera, se contempla a corto plazo, la disminución del tiempo de respuesta en la prestación de los servicios, del llamado de la ciudadanía, minimizar el tiempo de desplazamiento de los vehículos de emergencia, mejorar la cobertura por área expuesta, disminuir la pérdida de vidas humanas, de bienes materiales y patrimoniales, mejorar la eficiencia y eficacia de la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, mediante la construcción de estas nuevas estaciones de bomberos.



8. CONCLUSIONES

- Con el fin de obtener un mejor resultado en el análisis de redes, se tuvo que fraccionar la red vial de la esto con el fin de obtener un margen de error mínimo en el modelamiento. Dicho fraccionamiento se realizó con las áreas de las jurisdicciones de cada una de las estacione de bomberos, de esta manera se pudo lograr el objetivo pensado.
- Se pudo establecer mediante la corrección topológica de la base cartográfica y las herramientas SIG, las áreas de la red vial que permiten la accesibilidad en un tiempo de respuesta de 7 minutos, permitiendo establecer las áreas en las cuales se pueden desplazar los recursos, en este caso el de un vehículo de emergencia de bomberos.
- Al realizar los ajustes topológicos y establecer los criterios técnicos del modelamiento, se pudieron obtener las áreas en un tiempo de respuesta de 1 a 7 minutos, como se evidencia en la Tabla 1. A su vez se pudo establecer el porcentaje de cubrimiento por estación en los tiempos de respuesta definidos, frente a su jurisdicción de cada una de las 17 estaciones de bomberos.
- Se pudo establecer y siguiendo los argumentos técnicos anteriormente expuestos, el modelamiento realizado mediante análisis de redes y garantizando mejora en el tiempo de atención para la UAECOB, que, en un corto plazo, se debe contemplar la ubicación de las nuevas estaciones: B-18 en la calle 113 con Avenida 9 Sector Santa Barba, Localidad de Usaquén y B-19 en la calle 41 sur con carrera 89 C, Sector Dedalito, Localidad de Kennedy.
- Adicionalmente, teniendo en cuenta el comparativo de tiempos de respuesta por localidad sumado al análisis técnico y de densidad poblacional, la proyección de



necesidades futuras, prioriza la construcción de las estaciones B-18 y B-19. Esto generaría una disminución tangencial en los tiempos de respuesta, ya que actualmente es en estas dos localidades de la ciudad en las que se presentan mayor incidencia en los tiempos de respuesta según el análisis.

- Con la construcción de estas dos estaciones, el cubrimiento estará dado a las localidades de Kennedy y Usaquén las cuales albergan una población de 1.543.202 millones de habitantes y una población flotante de 2'000.000 de habitantes aproximadamente.
- A su vez las dos nuevas estaciones de bomberos permitirían mejorar los tiempos de respuesta de las estaciones de bomberos B-1, B-13 y B-5, las cuales a la fecha apoyan el cubrimiento de estos sectores.
- De esta manera, se contempla a corto plazo, la disminución del tiempo de respuesta en la prestación de los servicios, del llamado de la ciudadanía, minimizar el tiempo de desplazamiento de los vehículos de emergencia, mejorar la cobertura por área expuesta, disminuir la pérdida de vidas humanas, de bienes materiales y patrimoniales, mejorar la eficiencia y eficacia de la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá, mediante la construcción de estas nuevas estaciones de bomberos.

9. RECOMENDACIONES

- Con el fin de obtener un mejor resultado para la accesibilidad a las 17 estaciones de bomberos, se sugiere realizar un corte a la malla vial de la ciudad, esto con el fin de obtener un margen de error corto; para esta monografía se realizó el corte con las áreas de las jurisdicciones de las estaciones de bomberos.
- Al realizar la creación de la GDB, donde se almacena la información, se recomienda crearla bajo la extensión personal geodatabase.mbd, debido a que al hacerla con file geodatabase,gdb genera un error al correr los modelos.
- Para la modelación es importante tener en cuenta los horarios más críticos en la ciudad, los cuales pueden incidir en los tiempos de respuesta, se recomienda realizar este modelamiento en software que permitan determinar esta variable).
- Se recomienda una vez generadas las GDBs, realizar el modelamiento uno a uno, en este caso, estación por estación de bomberos, esto con el fin de no incurrir en error al correr dichas herramientas.
- Tener en cuenta que las áreas reales de cubrimiento de las 17 estaciones de bomberos en algunos casos cubren tanto zona urbana como rural, frente al modelamiento pareciera que es poco el cubrimiento en 7 minutos para las jurisdicciones, lo cierto es que en el mapa la estación tiene un mayor cubrimiento en el área rural y que la presencia vial es muy poca o escasa, así que el modelo solo cubre las vías del sector urbano.
- Cuando se busque obtener información más ajustada y real se debe de garantizar que las direcciones de los predios priorizados deben corresponder a la información de lotes disponibles por parte del Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADE) entidad encargada de administrar los bienes inmuebles de la capital.



- Se eligieron estos sectores para la ubicación de las nuevas estaciones, según el comportamiento de los incidentes atendidos por la UAECOB, las dinámicas poblacionales de Bogotá y el análisis de tiempos de respuesta.

10. BIBLIOGRAFÍA

IDECA. (2015). <http://www.ideca.gov.co/index.php?q=es/content/cat%C3%A1logo-dedatos-geogr%C3%A1ficos>. Obtenido de <http://www.ideca.gov.co/index.php?q=es/content/cat%C3%A1logo-dedatos-geogr%C3%A1ficos>.

ALCALDE DE BOGOTA GUSTAVO PETRO. (2014). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=57274&dt=S>. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=57274&dt=S>.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2019). *Programa de Gestión de la Velocidad*. Bogotá.

Bogotá descripción geográfica, S. (2020). www.socialhizo.com. Obtenido de <https://www.socialhizo.com/entretenimiento/turismo-al-dia/bogota-descripcion-geografica>.

Bogotá, A. M. (2019). *Programa de Gestión de la Velocidad*. Bogotá.

BOGOTA, C. D. (2013). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=56152>. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=56152>.

Bomberoscali. (2020). bomberoscali.org/estadisticas-de-emergencia/. Obtenido de <http://bomberoscali.org/estadisticas-de-emergencia/>.

bomberoscali. (s.f.). <http://bomberoscali.org/estadisticas-de-emergencia/>. Obtenido de <http://bomberoscali.org/estadisticas-de-emergencia/>.

C., E. A. (2000). <https://www.ifrc.org/docs/IDRL/DECRETO%20619%20DE%202000.pdf>. Obtenido de <https://www.ifrc.org/docs/IDRL/DECRETO%20619%20DE%202000.pdf>.



- CANO, C. G. (2015). <http://repository.udistrital.edu.co>. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/7861/1/Elaboraci%C3%B3n%20del%20modelo%20de%20red%20de%20distribuci%C3%B3n.pdf>.
- COLOMBIA, C. D. (21 de 08 de 2012). [Funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma](http://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48943>.
- COLOMBIA, E. C. (24 de ABRIL de 2012). LEY 1523 DE 2012. *LEY 1523 DE 2012. BOGOTÁ*.
- COLOMBIA, E. C. (21 de agosto de 2012). www.funcionpublica.gov.co. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48943>.
- COLOMBIA, E. C. (21 de agosto de 2012). www.funcionpublica.gov.co. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48943>.
- CONCEJO DE BOGOTÁ . (2016). <https://www.secretariageneral.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/acuerdo-645-2016>. Obtenido de <https://www.secretariageneral.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/acuerdo-645-2016>.
- ECHAVARRIA, A. R. (19 de 06 de 2013). <http://repositorio.uchile.cl>. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114102>.
- ECHEVERRIA, A. R. (2013). SANTIAGO DE CHILE: N/a. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114102>.
- ESRI. (Enero de 2007). *GIS for Fire Station Locations and Response Protocol* . Obtenido de esri.com: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/gis-for-fire.pdf>
- ESRI. (MARZO de 2006). Obtenido de GIS Technology and Applications for the Fire Service: <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/fire-service-gis-applications.pdf>
- ESRI -BOSQUE. (1992). www.esri.es/es/productos/arcgis. Obtenido de www.esri.es/es/productos/arcgis.
- IDIGER, D. D. (2015). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=27311&cadena=i>. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=27311&cadena=i>.
- IGAC. (2016). *CATÁLOGO DE OBJETOS*. Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/anexo_6._catalogo_de_objetos_catastrales.pdf



Martínez. (09 de 2007).

www.comunidadism.es/wpcontent/uploads/downloads/2012/01/Network-Analyst-El-An%C3%A1lisisde-Redes-desde-ArcGIS-9.2.pdf. Obtenido de www.comunidadism.es/wpcontent/uploads/downloads/2012/01/Network-Analyst-El-An%C3%A1lisisde-Redes-desde-ArcGIS-9.2.pdf.

NACIONAL, G. (1997).

<https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Convivencia%20y%20seguridad/Secciones/Tr%C3%A1mites/Documentos/2011/LEY%20388%20DE%201997.pdf>. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/wpccontent/Sites/Subportal%20del%20Ciudadano/Convivencia%20y%20seguridad/Secciones/Tr%C3%A1mites/Documentos/2011/LEY%20388%20DE%201997.pdf>.

Ospina. (2009). <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/6/05CAPI04.pdf>. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/6/05CAPI04.pdf>.

PIZARRO, F. O. (2013). CHILE.

Schafer, V. (4 de JUNIO de 2009). *Monografias.com*. Obtenido de *Monografias.com*: <http://blogs.monografias.com/institucional/2009/06/04/que-es-una-monografia-tipos-y-formas/>

SEGUÍ PONS. (2003). <https://spectrageospatial.com/>. Obtenido de spectrageospatial.com/.

SocialHizo, D. g. (2020). *www.socialhizo.com*. Obtenido de <https://www.socialhizo.com/entretenimiento/turismo-al-dia/bogota-descripcion-geografica>.

TORRES, D. N. (2015). *ANÁLISIS ESPACIAL ESTACIONES DE BOMBEROS MUNICIPIO SANTIAGO DE CALI 2014*. MANIZALES: N/A.

VANEGAS . (2005). <http://dspace.usalca.cl/bitstream/1950/1162/2/PAlisteV.pdf>. Obtenido de <http://dspace.usalca.cl/bitstream/1950/1162/2/PAlisteV.pdf>.

Velilla, J. P. (05 de 2012). LEY 1523 DE 2012. BOGOTÁ .

BOSQUE SENDRA J. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp S.A: Madrid, Spain. 2000.

LONGLEY P.A., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J. & RHIND D.W. *Geographic Information Systems and Science*. Jonhn Wiley & Sons, Ltd. Chichester, England. 2001.

BURROUGH P.A. & McDONNELL R.A. *Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information System and Geostatistics*. Oxford University Press Inc. New York, USA. 2000.

DAVIS B.E. *GIS: A Visual Approach*. OnWord Pres. Canada. 2001.



EPPSTEIN D. Clustering for Faster Network Simplex Pivots. University of California, Irvine, CA, USA. 1993. FAO. Austria Training Course on Forest Roads and Wood Harvesting in Montanous Forest. Technical Report of FAO. Rome. Italy. 1976.

KANTOLA M. & HARSTELA P. Handbook on Appropriate Technology for Forestry Operations in Developing Countries. National Board of Education of the Government of Finland. Helsinki, Finland. 1991.

11. ANEXOS

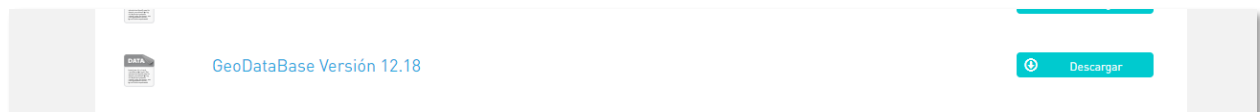
PASO A PASO

Con el fin de determinar la accesibilidad de las 17 estaciones de bomberos en un tiempo de respuesta de 7 minutos, a continuación, se describe en el paso a paso, el uso de los insumos y herramientas SIG, con el fin de alcanzar el objetivo específico planteado:

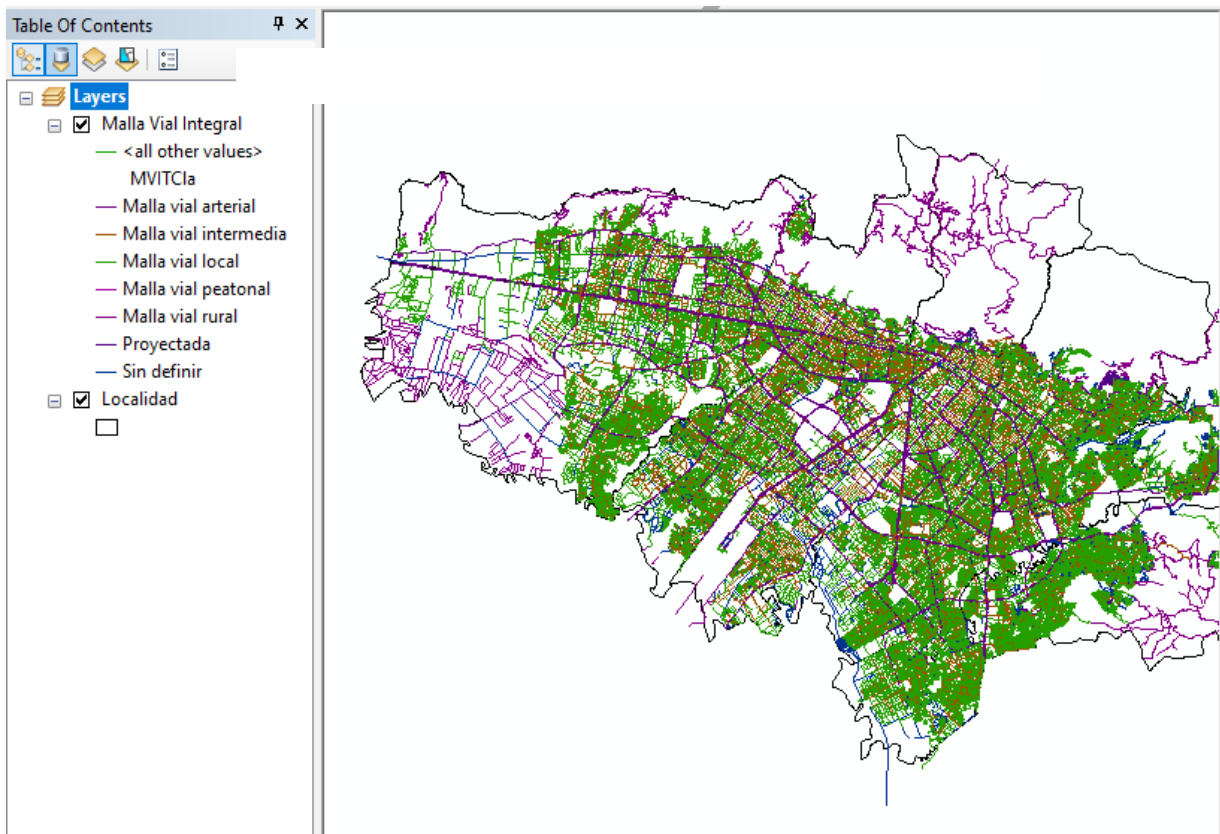
- Descarga de base cartográfica de Bogotá, portal <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/malla-vial-integral-bogota-d-c1>. Donde se encuentra almacenada la GDB de Bogotá y que sirve de base cartográfica para el diseño de los tiempos de respuesta.



Ilustración 6. Base Cartográfica de Bogotá



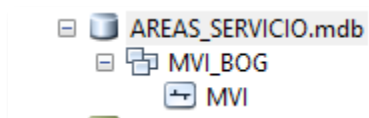
- Base cartográfica seleccionada para definir tiempo de respuesta, Malla vial, jurisdicción localidades Bogotá.



Mapa 4. Base cartográfica malla vial Bogotá

- Creación de GDB para realizar el control topológico a las vías como elementos base del análisis.

New > Personal geodatabase > New > Feature Dataset > New > Feature Dataset > Import > Feature Class (multiple) > Malla vial



- Creación de reglas topológicas

Feature Dataset > New > Topology > Add Rule > Must not overlap > Must not intersect > Must not have dangles > Must not have pseudo nodes > Must not have self overlap > Must not have self intersect > Must be single part.

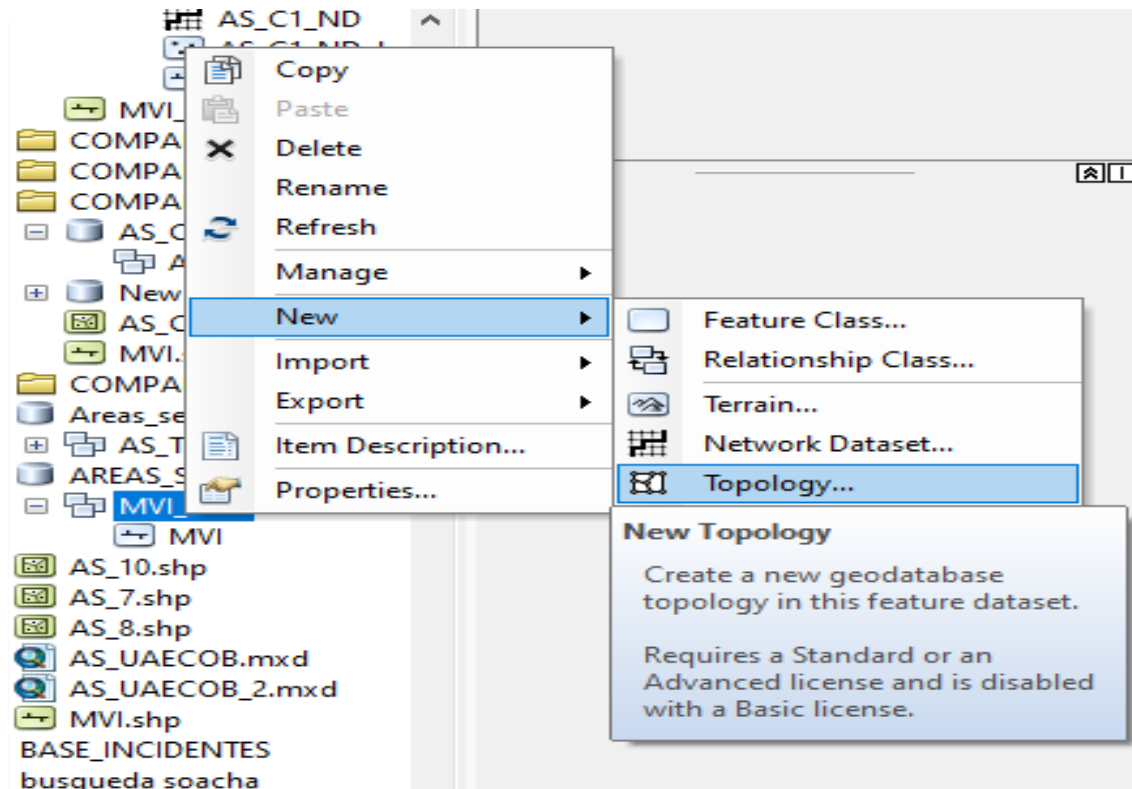
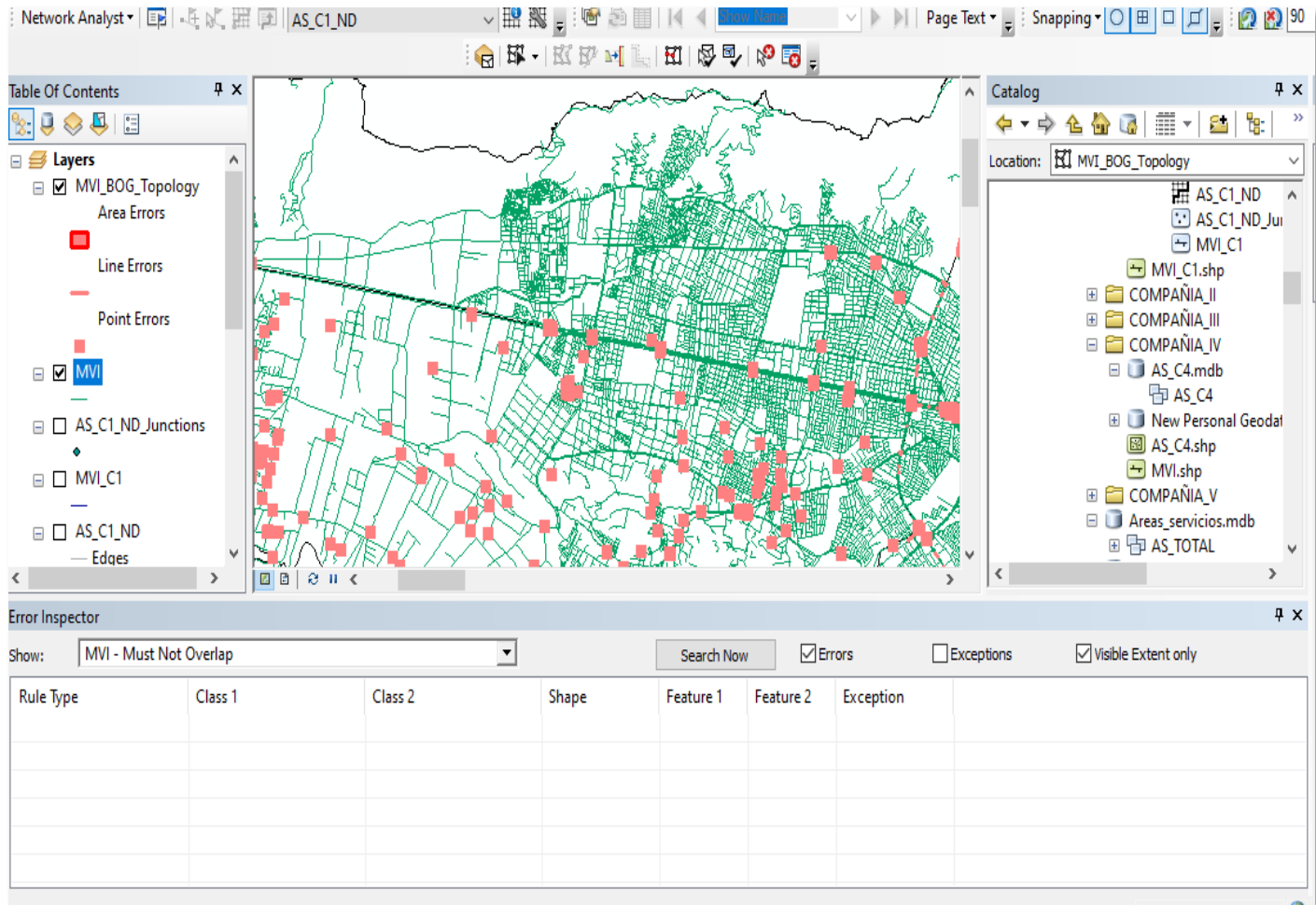


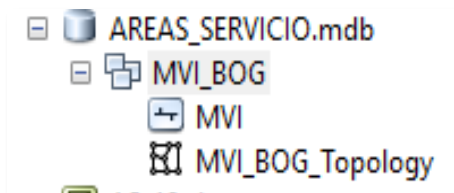
Ilustración 7.Reglas topológicas

- Se realiza los ajustes correspondientes a los controles topológicos mediante la inspección de errores, de esta manera podemos obtener una capa con una calidad de 100%, lo que permite un bajo margen de error en el modelamiento.



Mapa 5. Capa con una calidad

- Resultado final, GDB con los controles topológicos a la red de la malla vial



- Creación de la Network dataset a partir de la capa de malla vial con los controles topológicos respectivos.

Generación en la tabla de atributos de los campos Longitud > tipo doublé , Velocidad km h, tipo double > Tiempo, > tipo double >.

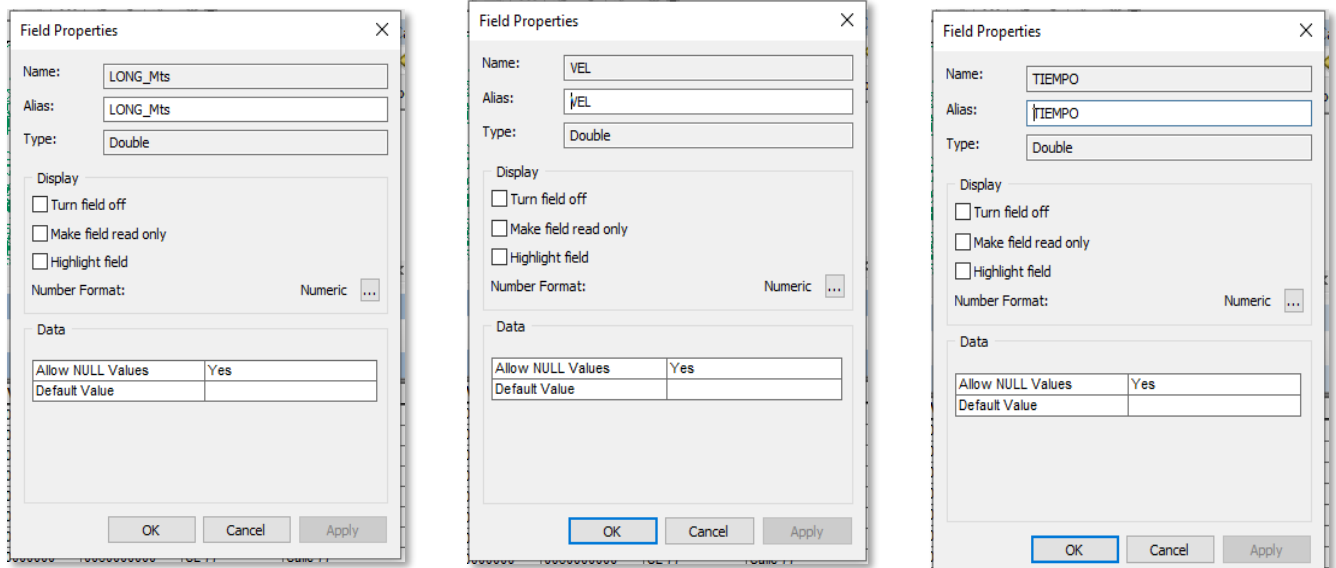


Ilustración 8. Tabla de atributos

Para este análisis se tiene en cuenta la longitud de los segmentos de vías y el tiempo de recorrido de cada uno de estos. En el cálculo de velocidad, Se asume que no todas las vías tienen la misma velocidad de desplazamiento, por esto según la tipología de vía y promediando la velocidad en que se mueve la ciudad, se define en el análisis las siguientes velocidades según el tipo de vía, criterio obtenido (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019) y ajustados para este análisis y el tipo de vehículo de emergencia.

Vías tipo 1 ----- 24 km/h

Vías tipo 2 -----20 km/h

Vías tipo 3 -----18 km/h

Vías tipo 4 -----15 km/h

Vías tipo 5 -----15 km/h

A su vez, con el fin de establecer el valor de la Impedancia (el costo en llevar un recurso de un extremo del segmento (Estación de Bombero) al otro extremo (incidente), puede expresarse en términos de TIEMPO. Para calcular el valor de este la ecuación aplicada para definir el valor de resistencia aparente y así establecer las áreas de cubrimiento según tiempo de respuesta en la columna tiempo es la siguiente:

$$T \text{ (min)} = \frac{\text{longitud (min)} * 60}{\text{Vel (km/h)} * 1000}$$

$$= \text{Longitud} * 0.06 / \text{Vel (km/)}$$

1h: 60 min
1km: 1000 m

via	MVICIV	SHAPE_Leng	Shape_Length	LONG_Mts	VEL	TIEMPO
	50008264	0.003135	62.309716	62.309716	24	0.155774
	1005995	0.000862	95.373247	95.373247	20	0.28612
	2000306	0.001274	140.917394	140.917394	24	0.352293
	2001517	0.00154	170.708566	170.708566	20	0.512126
	50006382	0.000602	66.56003	66.56003	24	0.1664
	2001730	0.000949	104.912648	104.912648	24	0.262282
	2001267	0.000506	56.043271	56.043271	20	0.16813
	2001010	0.000096	10.605396	10.605396	20	0.031816
	2001462	0.000532	58.967529	58.967529	20	0.176903
	2001869	0.001088	120.302693	120.302693	24	0.300757
	2000870	0.000875	96.869374	96.869374	24	0.242173
	2000306	0.00115	127.241763	127.241763	24	0.318104

Ilustración 9. Tabla de atributos

- Network dataset a partir de la GDB y los parámetros de impedancia establecidos en los atributos de la malla vial.

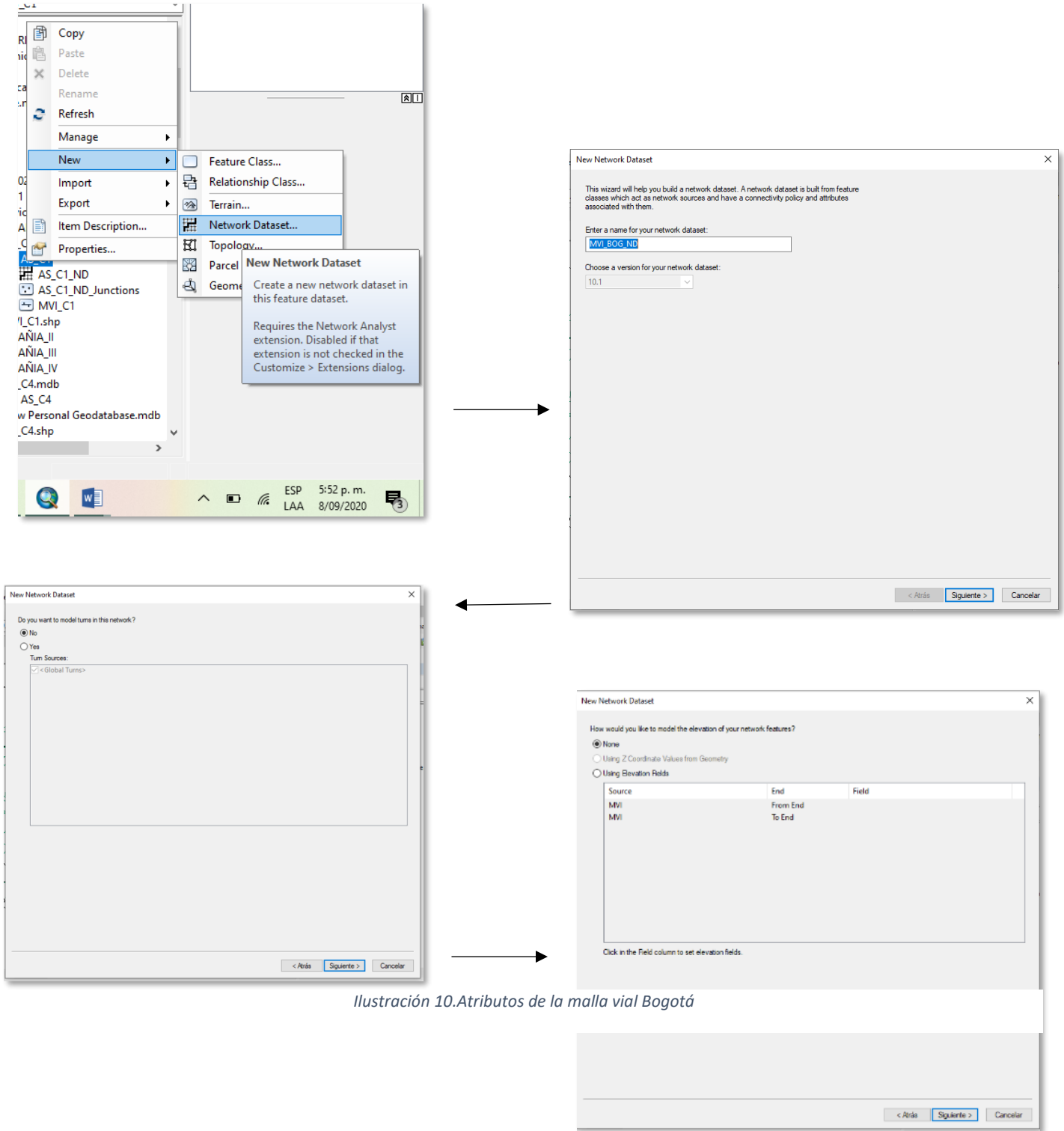


Ilustración 10. Atributos de la malla vial Bogotá

Una vez realizados estos parametros para la creacion del network dataset, se realiza la especificacion de los atributos del network dataset , esto en los elementos de Longitud y Tiempo, a su vez la evaluacion de los mismos, con el fin de darle los elementos requeridos en el modelamiento.

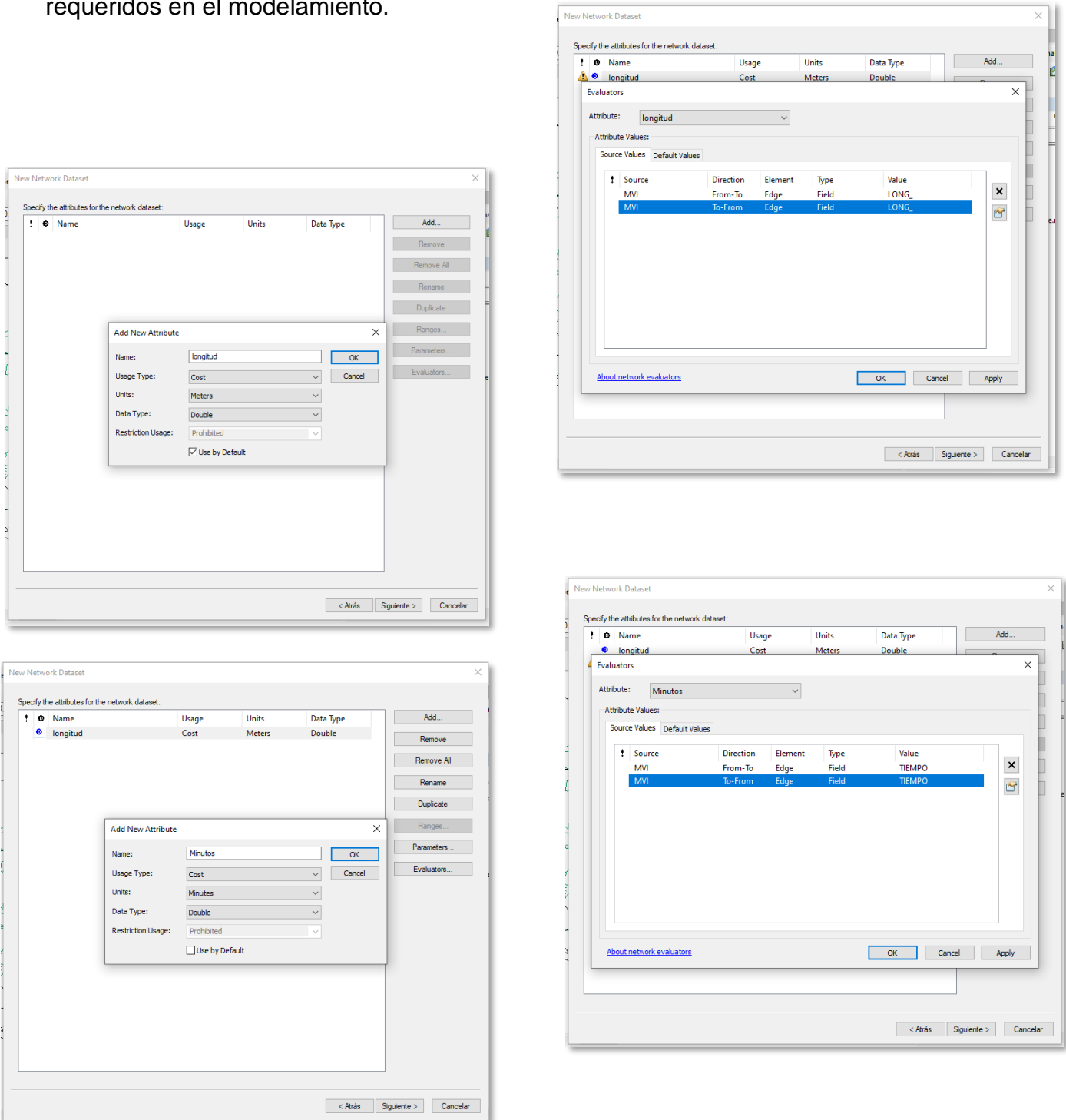
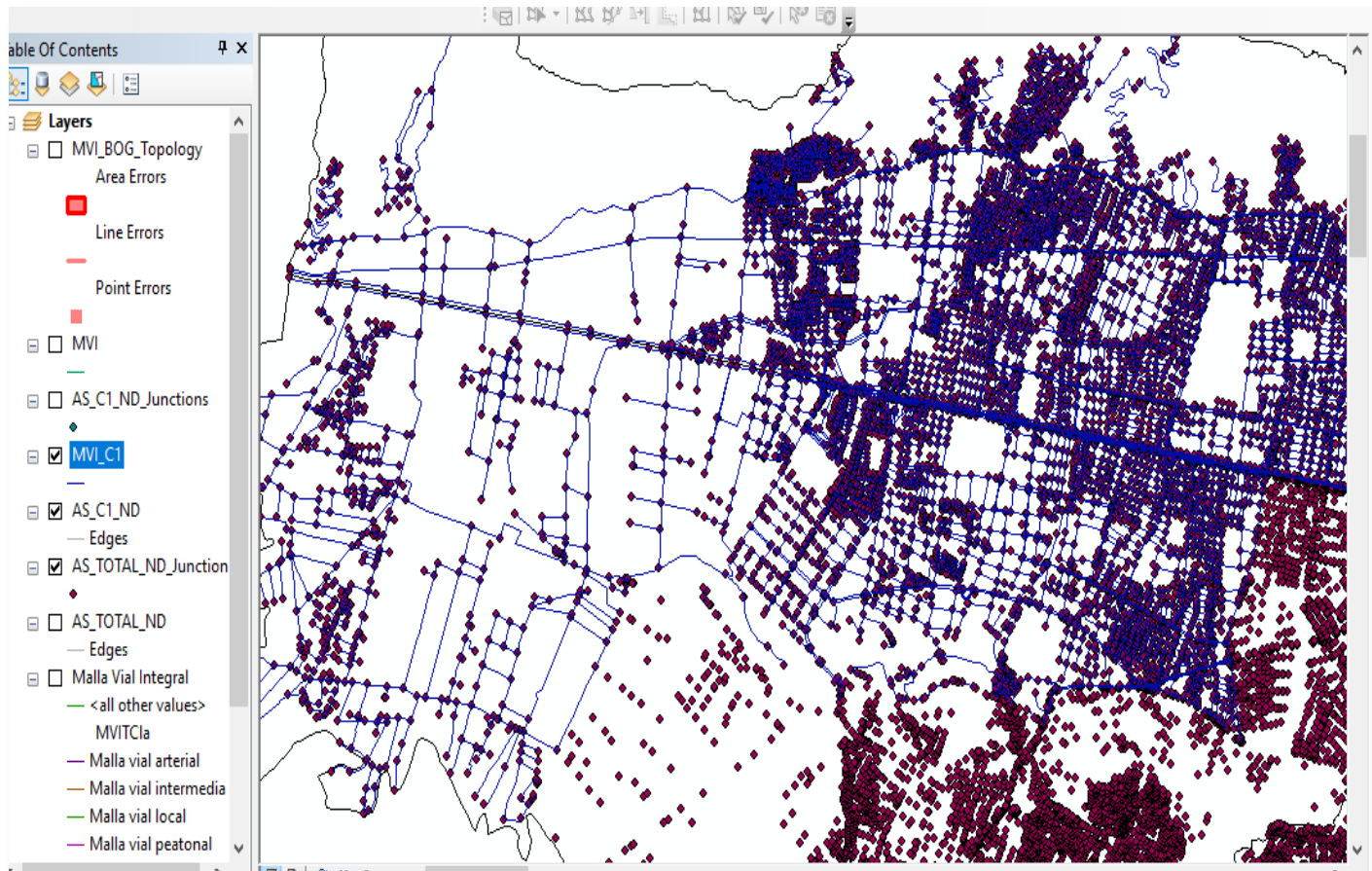


Ilustración 11. Especificación de los atributos del network dataset.

- Proceso finalizado del network dataset y el control topológico de la malla vial.



Mapa 6. Control topológico de la malla vial

11.1. Definición de las áreas de cubrimiento de cada una de las 17 estaciones de bomberos de la Unidad Administrativa Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá.

Una vez obtenido el resultado de la estimación de la accesibilidad de las 17 estaciones de bomberos en un tiempo de respuesta de 7 minutos, se procede a realizar las áreas de cubrimiento de estas mismas, esto con el uso de las herramientas SIG, pasos que a continuación se plantean:

- Creación del Network analyst, con el fin de determinar las áreas de cubrimientos de las estaciones de bomberos. Esto a partir de la GDB con correcciones topológicas y el network dataset.



Mapa 7. Network analyst para determinar áreas de cubrimiento

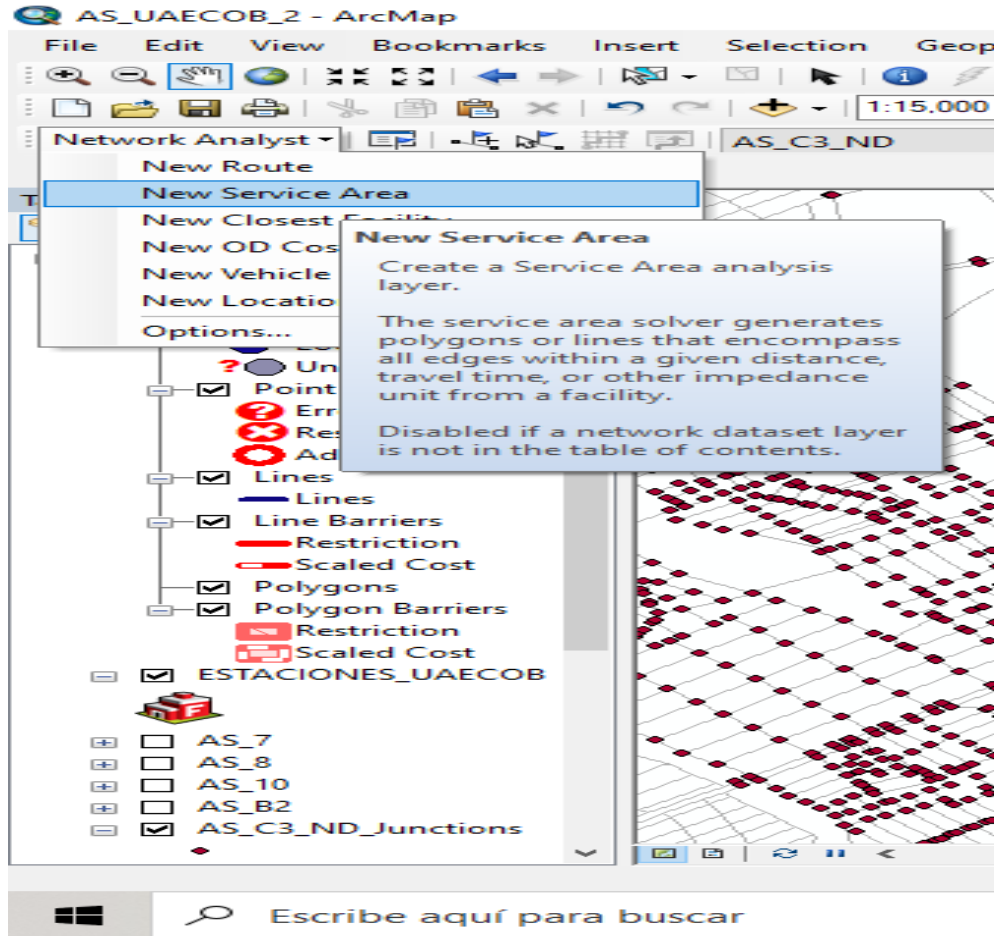


Ilustración 12. Tabla de atributos

- Creación de un Network analyst

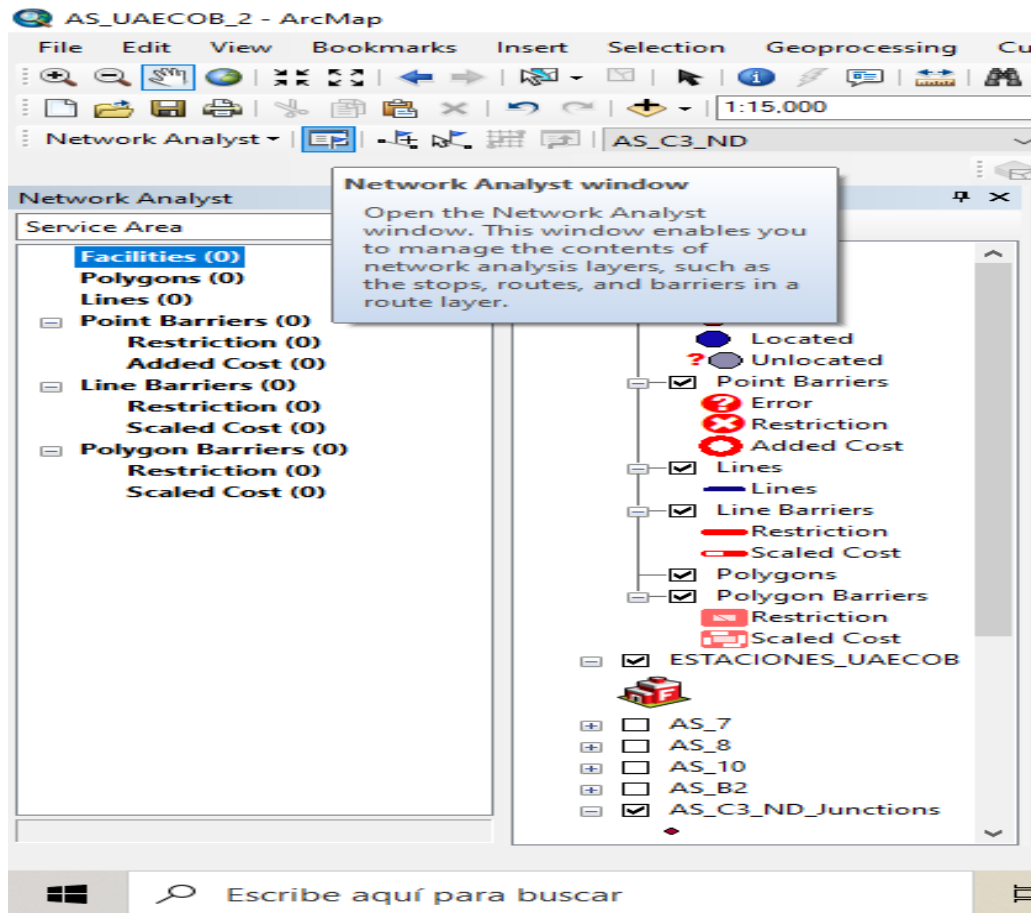


Ilustración 13. Tabla de atributos

- Elección de las localizaciones para determinar las áreas de servicios, en este caso se elige la capa de estaciones de bomberos de la UAECOB “Shapefile tipo punto”

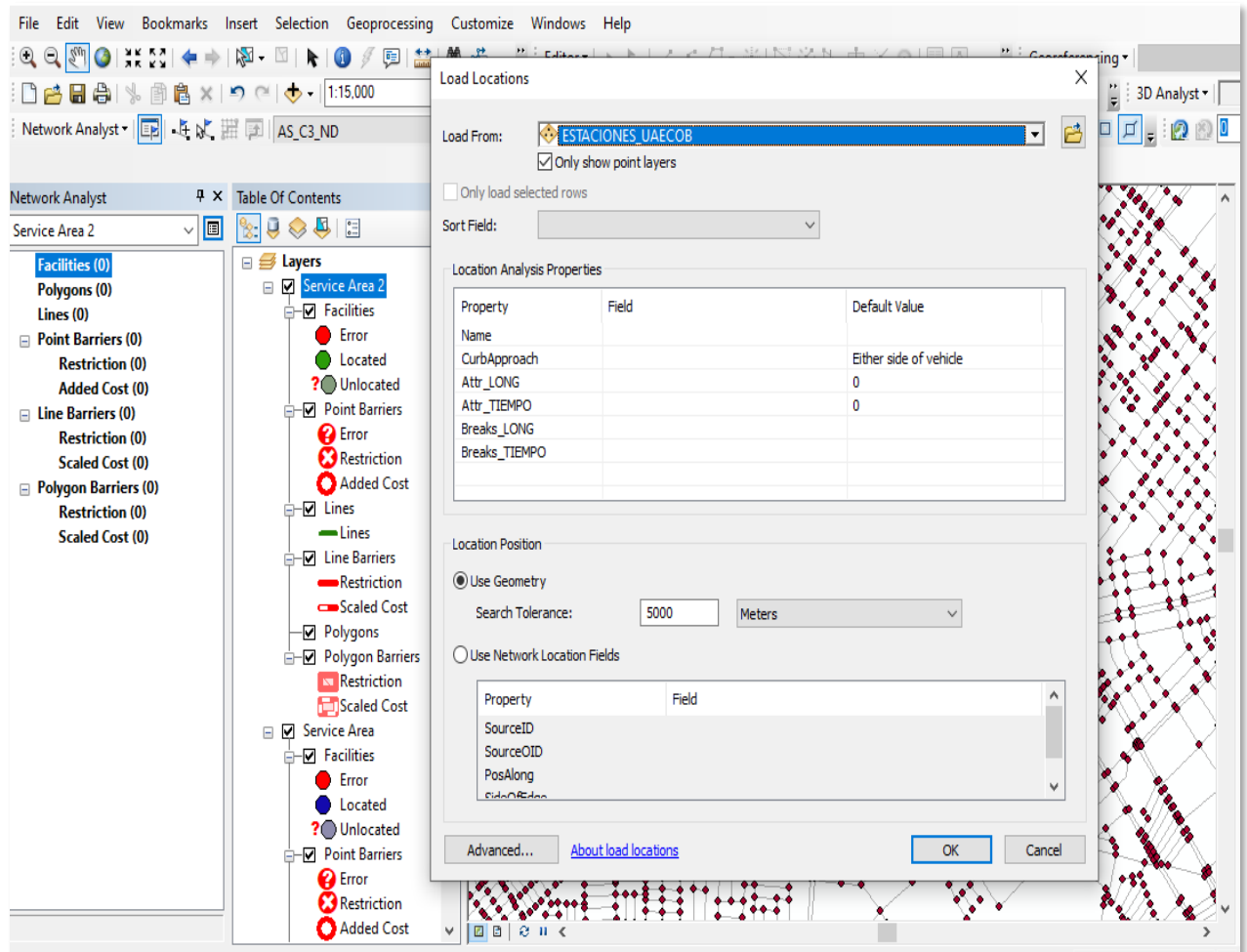


Ilustración 14. Capa de estaciones de bomberos

- Determinación de las áreas de servicios, estas se realizan para unos valores de tiempo de 1 a 7 minutos, que corresponde al promedio del tiempo de respuesta de estación de bomberos para la UAECOB.

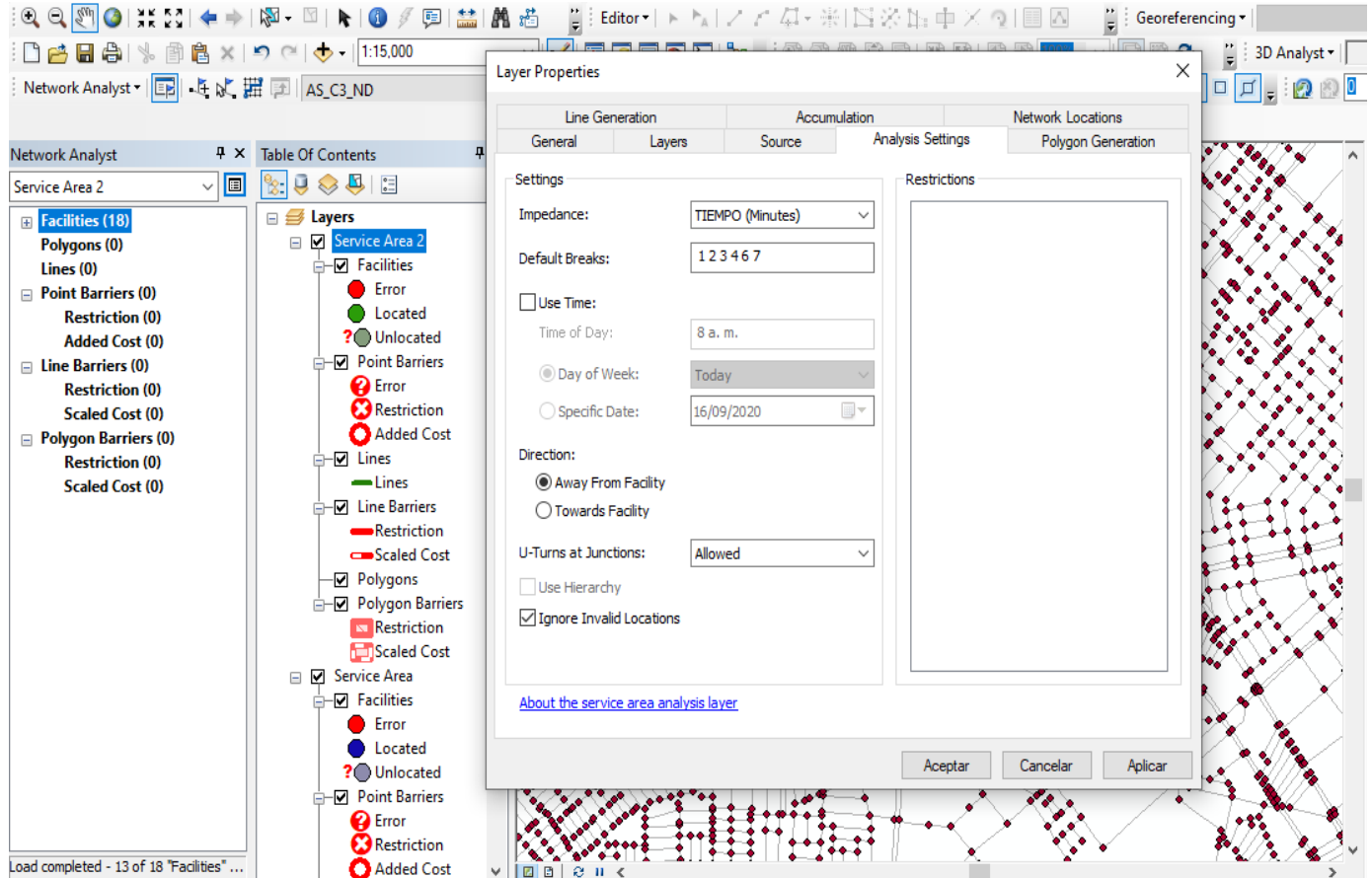


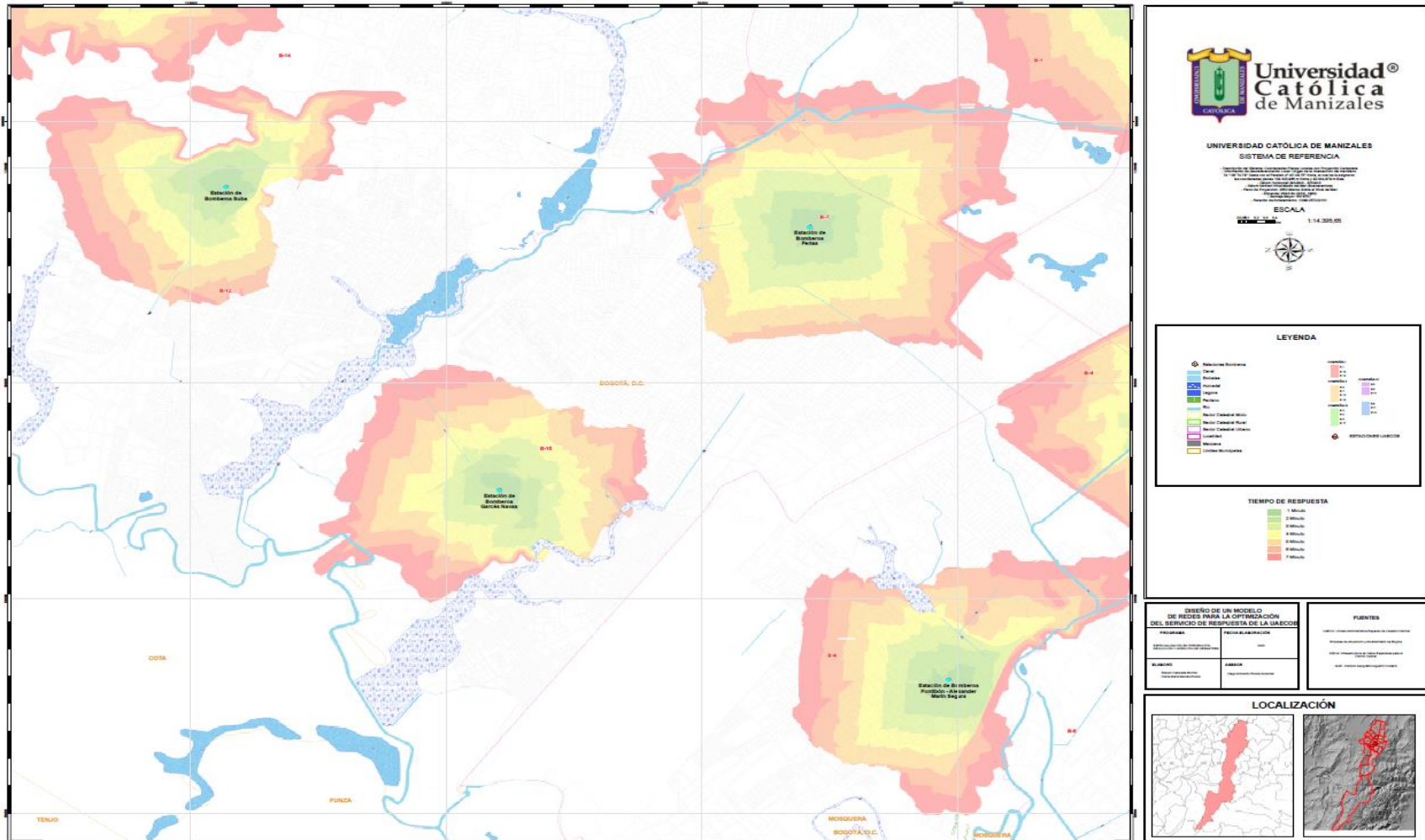
Ilustración 15. Áreas de servicios

NOTA: Teniendo en cuenta el conjunto de elementos lineales interconectados, por los cuales se asume el flujo de un recurso, se busca establecer el valor de la IMPEDANCIA (el costo en llevar un recurso de un extremo del segmento (Estación de Bombero) al otro extremo (incidente), puede expresarse en términos de TIEMPO).

Hoja No. 1

DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RESPUESTA DE LA UAECOB

Hoja No. 1

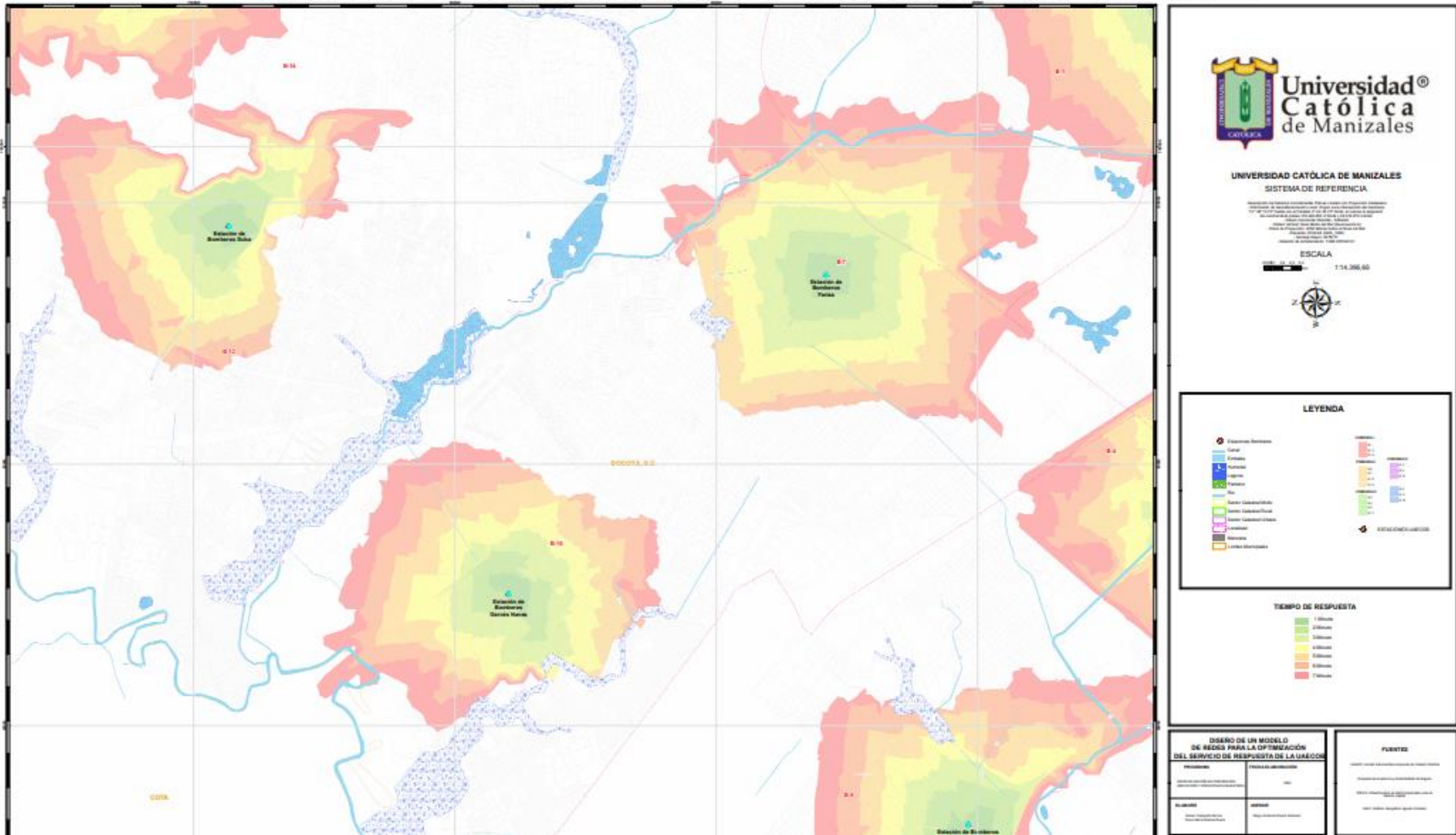


Mapa 8. Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía I

Hoja No. 1

DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RESPUESTA DE LA UAECOB

Hoja No. 1

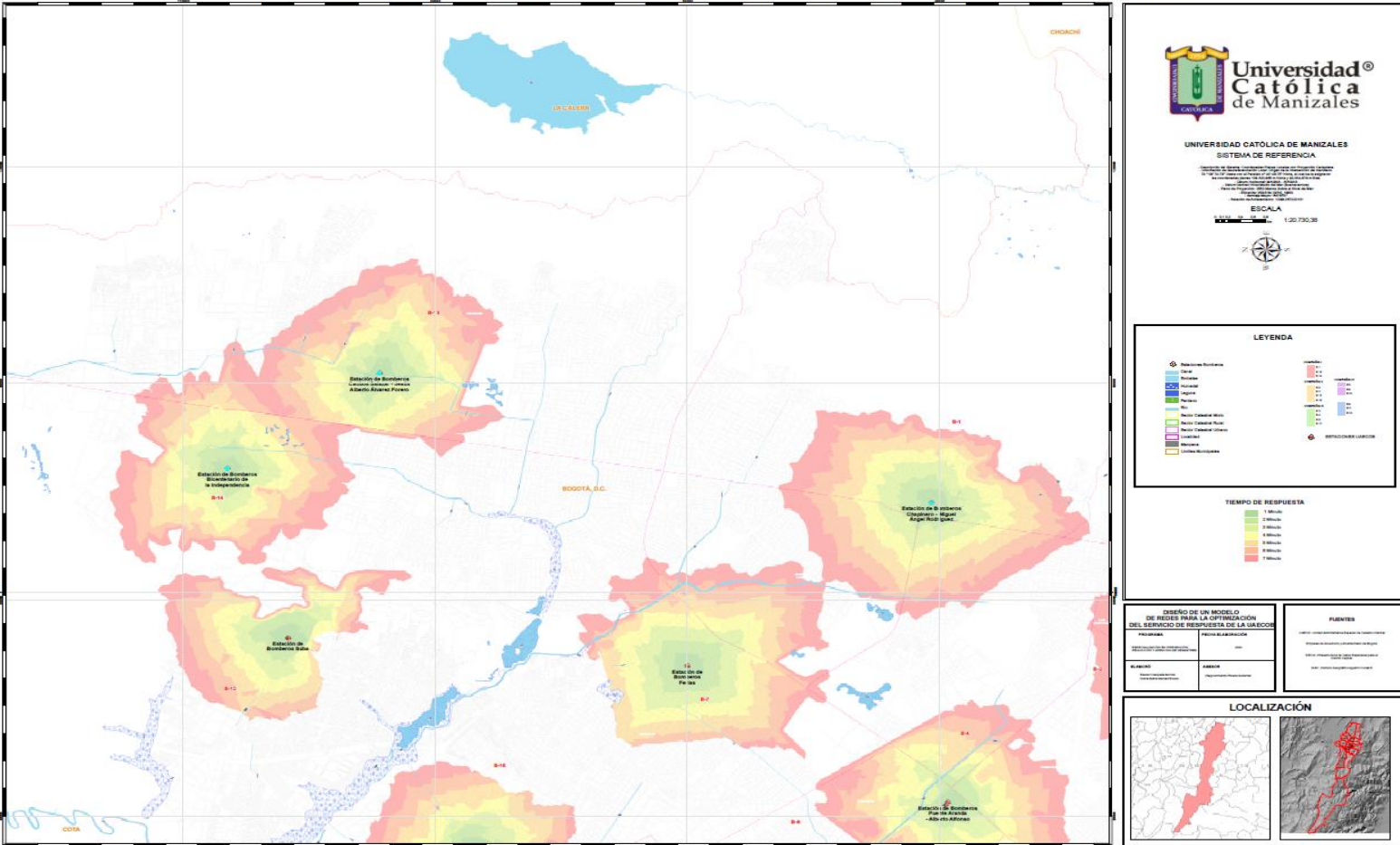


Mapa 9. Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía II

Hoja No. 1

DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RESPUESTA DE LA UAECOB

Hoja No. 1

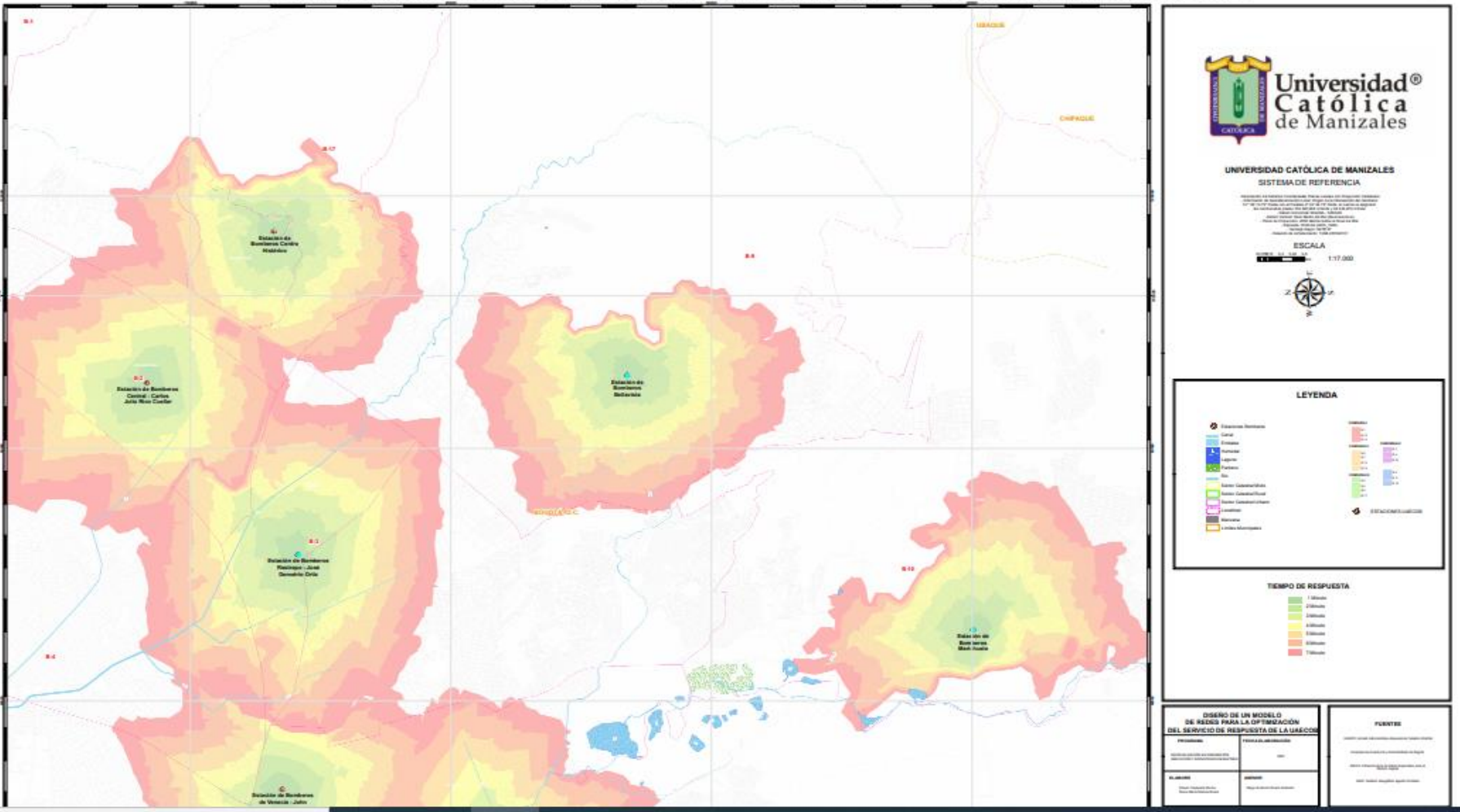


Mapa 10. Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía III

Hoja No. 1

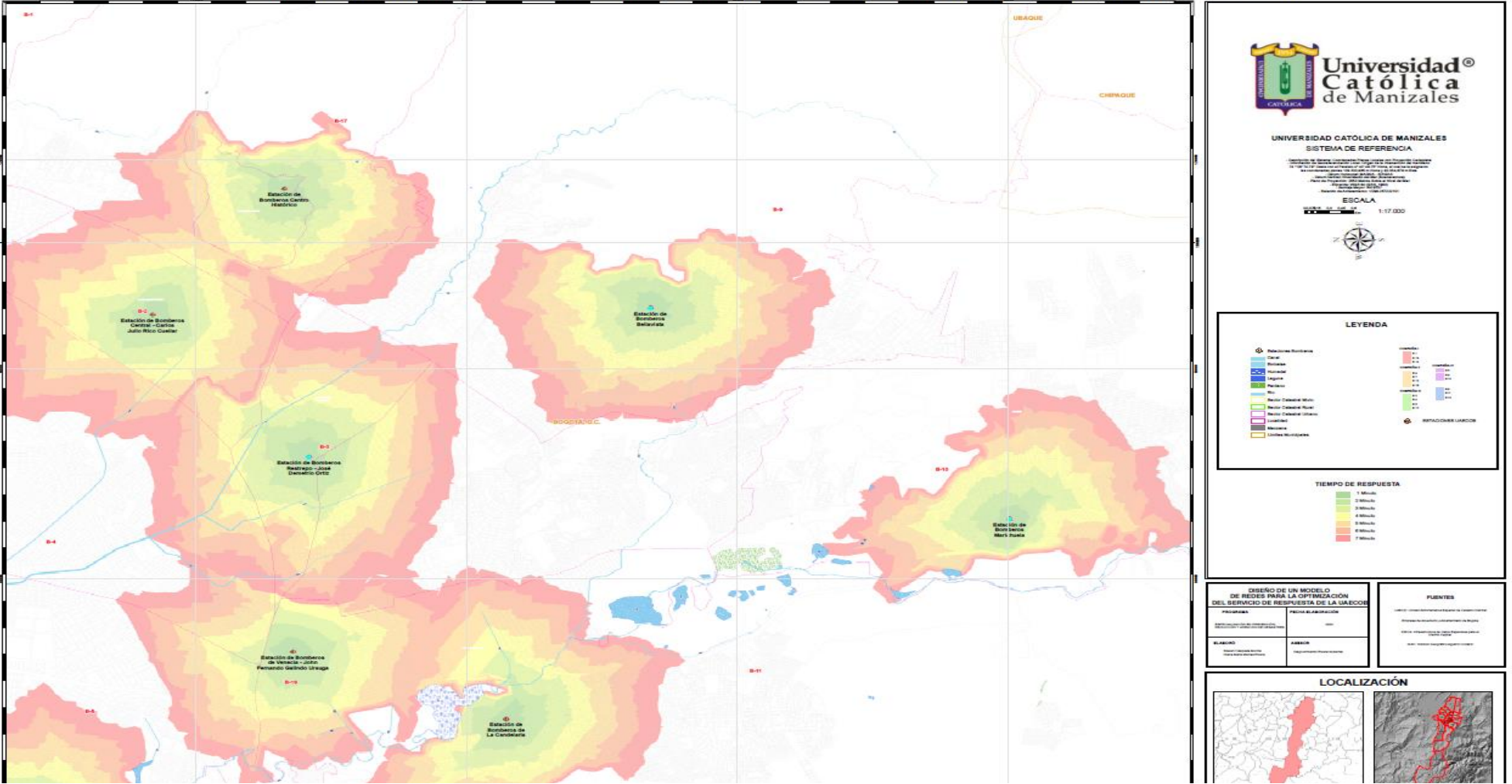
DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RESPUESTA DE LA UAECOB

Hoja No. 1



Mapa 11. Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía IV

DISEÑO DE UN MODELO DE REDES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RESPUESTA DE LA UAECOB



Mapa 12. Diseño de un modelo de redes para la optimización del servicio de respuesta de la UAECOB –compañía V