

IMPACTO DE SERVIDUMBRES EN LA PLMB ENTRE LA ESTACIÓN 3 Y 4 EN KENNEDY

Jeison Fermín Ariza Guerrero



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2025

IMPACTO DE SERVIDUMBRES EN LA PLMB ENTRE LA ESTACIÓN 3 Y 4 EN KENNEDY

Jeison Fermín Ariza Guerrero

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de arquitecto

Yuber Alberto Nope Bernal, asesor



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2025

Agradecimientos

A Dios, por ser mi fortaleza y permitirme culminar este proyecto. A mi esposa y mi familia: gracias por estar siempre ahí, por su compañía incondicional y por darme el ánimo necesario para no desistir en todo este proceso

Jeison Fermín Ariza Guerrero

Tabla de contenido

LISTA DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	11
ÁRBOL DE PROBLEMAS	13
FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	14
FORMULACION DE PREGUNTA PROBLEMA	15
OBJETIVOS	16
1 OBJETIVO GENERAL	16
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
METODOLOGÍA.....	17
CAPÍTULO I: MARCO CONCEPTUAL.....	19
CAPÍTULO II: IMPACTOS AMBIENTALES.....	23
CAPITULO III DISPOSICIONES GENERALES”	28
CAPITULO IV EMISIÓN DE RUIDO	31
EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	33
CONTAMINACIÓN AUDITIVA	34
CAPÍTULO V: MARCO NORMATIVO	39
NORMATIVA ACTUAL.....	39
REGULACIÓN ESPECÍFICA SOBRE CALIDAD DEL AIRE Y CONTAMINACIÓN ACÚSTICA	40
LA FACHADA COMO FILTRO: ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN PASIVA EN LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA	41
INSTRUMENTOS DE GESTIÓN PREDIAL: SERVIDUMBRE Y EXPROPIACIÓN.....	43
CAPITULO VII MARCO CONCEPTUAL	47
CAPITULO VIII MARCO REFERENCIAL	48

RECOLECCIÓN DE DATOS	53
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	55
CAPITULO IX DIPLOMADO BIM	58
INTRODUCCIÓN	58
NORMAS Y ESTÁNDARES BIM.....	58
FUNDAMENTOS DEL SISTEMA LIDAR	61
GNSS Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	62
PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS Y ORIENTACIONES	64
CONCLUSIONES DIPLOMADO BIM.....	65
RECOMENDACIONES.....	66
GLOSARIO	68
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Lugar de investigación	12
Figura 2 Árbol de problemas	13
Figura 3 Promedio de medicion.....	25
Figura 4 Mapa estratégico de Ruido (Localizacion lote).....	26
Figura 5 Medicion para contaminacion.....	30
Figura6 Energia de Sonido Moviendose	32
Figura 7 Grafica de ondas Sonoras	36
Figura 8 Medición de Decibelios.....	37
Figura 9 Grafica de ruido en el sector.....	38
Figura 10 Detalle axonométrico de sistema de ventana con doble acristalamiento	43
Figura 11 Plano remitido por la Empresa Metro de Bogotá S.A.....	45
Figura 12 Diagrama de Gestion de la informacion	60
Figura 13 modelo 3D Propuesta Hotel Metro Kennedy	66

RESUMEN

Esta investigación pretende establecer los impactos urbanos derivados de la construcción de la primera línea del metro en la ciudad de Bogotá, específicamente en el barrio Abraham Lincoln de la localidad de Kennedy, a través de la identificación y análisis de algunas de las problemáticas que podrían afectar a quienes habitan en los sectores colindantes a la cimentación de la obra mencionada, así como a los predios establecidos allí; por medio de estrategias como el análisis de estadísticas, de investigaciones realizadas por profesionales en el tema y la observación de lo ocurrido en otras ciudades en el mundo en donde se realizaron obras civiles similares.

Lo anterior, con el objetivo de –diseñar estrategias arquitectónicas que mitiguen los posibles y más concurrentes problemas urbanos que son producto de la construcción del proyecto mencionado, para de esa forma, garantizar la calidad de vida de los habitantes, y replicar el proyecto de conformidad con las necesidades de la ciudad y de quienes habitan cerca de una construcción de estas dimensiones.

Palabras clave: Obras civiles de gran impacto; primera línea del metro de Bogotá; impactos ambientales; estrategias arquitectónicas; problemáticas derivadas de la construcción.

ABSTRACT

This research aims to establish the urban impacts derived from the construction of the first metro line in the city of Bogotá, specifically in the Abraham Lincoln neighborhood of the town of Kennedy, through the identification and analysis of some of the problems that could affect to those who live in the sectors adjacent to the foundation of the aforementioned work, as well as the properties established there; through strategies such as the analysis of statistics, research carried out by professionals on the subject and observation of what happened in other cities in the world where similar civil works were carried out.

The above, with the objective of –designing architectural strategies that mitigate the possible and most concurrent urban problems that are a product of the construction of the aforementioned project, in order to guarantee the quality of life of the inhabitants, and replicate the project in accordance with the needs of the city and those who live near a construction of these dimensions.

Keywords: High impact civil works; first line of the Bogotá metro; environmental impacts; architectural strategies; problems arising from construction.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a los impactos que se generan durante y después de la construcción de la primera línea del metro, específicamente en el barrio Abraham Lincoln en la localidad de Kennedy; lo anterior, porque, dadas las necesidades de mejorar el sistema de transporte de la ciudad, desde hace varios años, se han ido analizando las distintas opciones existentes para determinar la más conveniente para la ciudad de acuerdo con sus características físicas.

Así entonces, tras la ejecución de diversos estudios, se logró determinar que por lo menos, en lo que respecta a la primera línea del metro, lo más provechoso, sería la construcción de un metro subterráneo; sin embargo, para otros actores, y dadas diversas investigaciones, se optó por un metro elevado.

Dado lo anterior, en el año 2023 se dio inicio a las labores tendientes a su cimentación, a través de actividades como la compra de predios, expropiación, demolición, entre otras; razón por la cual, expertos han visto la necesidad de realizar análisis exhaustivos respecto a los impactos ambientales que, desde ya, se evidencian a las zonas aledañas a la construcción.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar algunos de los impactos que se espera, aumenten con la puesta en marcha de la obra; entre ellos, se encuentran aspectos como la contaminación visual y auditiva derivadas de las labores de cimentación del metro, lo que, además, aumentara los niveles de gases contaminantes tales como dióxido de carbono, debido a los materiales utilizados en la obra, pueden ser perjudiciales para salud; además, el los espacios vacíos y no utilizados de forma funcional por las entidades responsables del urbanismo de las zonas impactadas.

Aunado a lo anterior, se pretenden analizar figuras jurídicas que son necesarios para lograr contar con los terrenos en donde se estima, serán ubicadas las estaciones, zonas de trabajo y demás áreas necesarias para el correcto funcionamiento inicialmente, de la obra, como posteriormente, del metro; dichas figuras son la

expropiación y los procesos de imposición de servidumbres, los cuales afectan de forma directa a quien habitan las zonas colindantes.

La investigación de estas problemáticas se realizará con el objetivo principal de diseñar arquitectónicamente estrategias que respondan de forma efectiva y positiva a los impactos ambientales, urbanos y sociales generados a raíz de la construcción de la primera línea del metro, y que se espera, pueda o puedan ser replicados durante la construcción de otras obras civiles de gran envergadura.

Dicho lo anterior, resulta pertinente mencionar que, las estrategias utilizadas para la investigación, será la de entrevistas a las personas que habitan en zonas cercanas a la obra, y a personas que han sido parte en los procesos judiciales antes nombrados; también, por medio de la investigación de campo y el análisis de estudios realizados en la zona, que permitan evidenciar en cifras, los impactos ambientales generados en el sector.

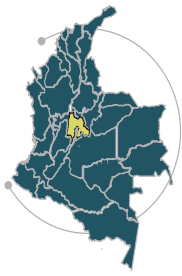
JUSTIFICACIÓN

La investigación a realizar se centrará exclusivamente en las zonas colindantes al área de construcción de la primera línea del metro de Bogotá, en el barrio Abraham Lincoln de la ciudad de Bogotá, puesto que allí, es el espacio en donde en la actualidad, se han iniciado las labores tendientes a la cimentación del mismo; a través, por ejemplo, de las figuras jurídicas de las servidumbres y los procesos de expropiación, que tienen como objeto en resumen, adquirir predios para la construcción del mega proyecto objeto de estudio.

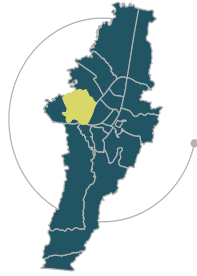
En ese orden de ideas, al ser una tema actual y que afecta de muchas formas a la población, es de vital importancia hacer un estudio exhaustivo de los consecuencias directas, que afectan a quienes durante la cimentación de la obra, habitan espacios cercanos; y, además, de las consecuencias residuales del mismo, puesto que, como se observa en múltiples ocasiones en nuestro país, al finalizar una obra, hay espacio que quedan vacíos y no son usados de forma fructífera, produciendo así, afectaciones de forma directa a la población del sector.

Lo anterior, con el objeto de mitigar los problemas generados por la implantación y puesta en marcha de un metro elevado, específicamente en el sector de Kennedy; que responda y se adapte a los cambios producidos por las servidumbres ya trazadas; todo ello, por medio de encuestas y estudios comparativos, para establecer por un lado, cuáles son las adversidades a las que se enfrentan los habitantes de sectores colindantes a estos tipos de obras durante y después de la construcción de una obra civil como lo es la **PLMB**; y por otro, definir cuál es el problema más recurrente, en los espacios y vacíos colindantes a estas dos estaciones en tanto están expuestos a cambios constantes que subyacen desde el planteamiento de la obra, y hasta llegar a la culminación de la misma.

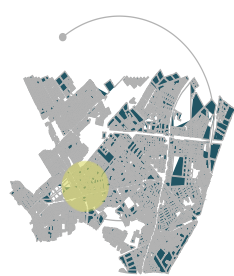
Figura 1
Lugar de investigación



Colombia



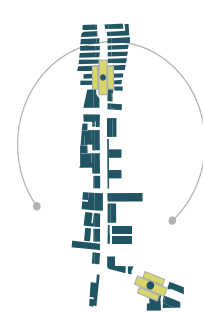
Bogotá



Kennedy



Barrio Abraham Lincoln



PLMB estación 3
y 4 barrio Abraham
Lincoln

Nota. Elaboración propia.

ÁRBOL DE PROBLEMAS

Para el entendimiento y desglose de los principales problemas que se ven relaciones en el estudio del sector con base en las afectaciones del PLMB; se creó la siguiente ayuda de conceptos visuales.

Figura 2
Árbol de problemas



Nota. Elaboración propia.

FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Se evidencia que en el área en donde se construirá la primera línea del metro de Bogotá, se encuentra diversidad de predios dispuestos para diversos usos; empero, ninguno de ellos fue proyectado ni está preparado para que en sus predios o en los alrededores se den procesos administrativos de servidumbre, que en su mayoría de veces son impuestos por los entes judiciales.

FORMULACION DE PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuáles serán las afectaciones más notables e influyentes producto de las servidumbres que se imponen en la construcción del tramo comprendido entre la estación 3 y 4 de la PLMB?

OBJETIVOS

1 Objetivo General

Determinar cuáles son las problemáticas que afectan en mayor medida a los habitantes de sitios colindantes a las zonas de construcción; específicamente entre la estación 3 y 4 del primer tramo de la PLMB. Producto de una transformación urbana que se evidencia a raíz de los procesos de imposición de servidumbre que son necesarios para la elaboración de este tipo de construcciones.

1.1 Objetivos Específicos

- Definir cuál es el problema más recurrente, en los espacios y vacíos colindantes a estas dos estaciones; en tanto están expuestos a cambios constantes que, subyacen desde el planteamiento de la obra, y hasta llegar a la culminación de esta.

- Determinar el uso que puede darse en las servidumbres, producto de la construcción y La implementación de la PLMB, entre el tramo 3 y 4.

- Diseñar una propuesta urbana, que aproveche los espacios residuales como núcleos articuladores Entre los barrios que están divididos por la línea o limite que tendrán los barrios: Bosa, Edén, Kennedy y Patio bonito y por medio de la misma genere una conectividad entre la Estación 3 y 4.

METODOLOGÍA

La investigación se basa principalmente en las problemáticas derivadas de la construcción de obras civiles de gran impacto, y que afectan de forma directa a los habitantes de zonas colindantes a los lugares de cimentación, específicamente en La construcción del Metro de Bogotá, exactamente la zona en donde se construirá la estación 4, barrio Abraham Lincoln de la localidad de Kennedy; así entonces, lo anterior se realizará por medio del método de investigación denominado “cualitativo”, puesto que, a través de la investigación se espera dar a conocer los resultados obtenidos de forma descriptiva.

Lo anterior, será realizado a través del análisis de los términos que definen el caso objeto de estudio, y del análisis de las consecuencias directas en una zona determinada, derivadas de la construcción del PMLB, para de esa forma, poder proponer distintas estrategias que den solución a los problemas encontrados.

HIPÓTESIS

A partir de la observación, el análisis de referentes y un acercamiento al lugar por medio del cual, se realizó un ejercicio de caracterización e identificación del área de trabajo; puede concluirse que, el factor más recurrente, observado en la construcción de obras de gran magnitud, es que las servidumbres generan incertidumbre en lo que respecta al trazado normal de la ciudad; puesto que, resulta plausible que las zonas olvidadas no fueron diseñadas de forma correcta, durante y después de la construcción de un sistema lineal de movilidad como lo es el PLMB.

Así entonces, estos espacios se convierten en vacíos urbanos, olvidados y segregados de un tramo de la ciudad. Dicho lo anterior, del estudio realizado, se logró identificar ciertas zonas de servidumbre que resultan ser claras y precisas para el desarrollo de la propuesta aquí expuesta.

Al respecto, los puntos lineales identificados forman un eje entre ellos, que vinculan o conectan la estación 3 y 4; de ese modo las cosas, como conclusión y estrategia urbana, se procede a realizar un trabajo de diseño urbano en el que se le dará una función pública deportiva, de los espacios segregados con el fin de articularlos entre ellos por medio de una senda clara, con materialidad inclusiva. Que permita generar una lectura clara de espacio público seguro e inclusivo, en el sentido de que su ubicación en el borde de la línea del metro, no sea un límite visual. Y que permita a los usuarios de las UPL de Kennedy y Edén puedan ingresar de manera permeable a sus barrios y que puedan tener una movilidad clara entre estaciones, y la red de ciclovías ya existentes de Kennedy.

CAPÍTULO I: Marco conceptual

La intervención urbana en el barrio Abraham Lincoln no puede entenderse simplemente como la inserción de una obra de ingeniería civil; debe leerse, ante todo, como una operación de transformación profunda sobre un organismo vivo. Al analizar el impacto de la construcción del metro en esta zona, nos enfrentamos a una realidad compleja donde la infraestructura de movilidad, necesaria para la metrópoli, entra en conflicto directo con la escala doméstica y barrial preexistente. Este análisis parte de una premisa fundamental: la llegada del viaducto ha alterado la morfología del sector, y nuestra tarea es diagnosticar las secuelas de esa cirugía urbana para proponer un proceso de curación y reintegración.

Para comprender la magnitud del reto, es indispensable observar el suelo que queda tras el paso de la maquinaria. Nos encontramos ante lo que Berruete Martínez define con precisión como el "vacío urbano". Sin embargo, en el contexto de nuestra intervención, este vacío no debe interpretarse meramente como la ausencia de edificios o como lotes baldíos esperando un destino. Se trata de algo más complejo: son los residuos de la planificación, las "sobras" espaciales que la infraestructura ha generado a su paso. La expropiación y la demolición necesarias para levantar las pilonas y el viaducto han dejado tras de sí una serie de espacios remanentes, retazos de manzanas y esquinas inconclusas que han perdido su función original dentro del tejido productivo y social de la ciudad. Estos espacios, despojados de su uso habitacional o comercial, han quedado en un limbo funcional, convertidos en tierras de nadie que interrumpen la continuidad de la vida urbana y generan una sensación de desolación física.

La existencia de estos vacíos físicos conlleva un riesgo latente mucho más profundo que el simple deterioro estético: la amenaza de la deshumanización del espacio. Aquí es donde la advertencia de Marc Augé cobra plena vigencia para nuestro proyecto. Si permitimos que estos espacios residuales bajo y junto al metro permanezcan sin tratamiento, estamos condenando al barrio Abraham Lincoln a convivir con lo que el autor denomina "no lugares". El peligro es inminente: que la zona deje de ser un espacio de identidad, historia y relaciones vecinales, para convertirse exclusivamente en un escenario de tránsito. Un "no lugar" es

aquel espacio diseñado para lo efímero, para el paso acelerado, similar a la frialdad anónima de una autopista o la sala de espera de un aeropuerto, donde el individuo se despoja de su identidad para ser simplemente un pasajero o un transeúnte. Si el diseño urbano no interviene, la sombra del viaducto será el escenario de un flujo constante de personas que no se miran, no se detienen y no interactúan, erosionando el sentido de comunidad que ha caracterizado históricamente al sector.

Frente a este escenario de fragmentación y anonimato, el análisis de la imagen de la ciudad se convierte en nuestra herramienta operativa para revertir el daño. Al observar el territorio, identificamos claramente que la nueva infraestructura ha impuesto una "senda" dominante: el corredor de movilidad. Actualmente, esta senda es agresiva, priorizando la máquina sobre el humano. Pero el diagnóstico más crítico es la identificación del viaducto como un "borde" contundente. La estructura elevada actúa hoy como una barrera física y psicológica que ha fracturado al barrio Abraham Lincoln en dos mitades, interrumpiendo las dinámicas transversales y aislando a vecinos que antes compartían una misma calle. Este borde, si no se trata, consolidará la segregación espacial y social del entorno.

Por tanto, la propuesta urbana surge como una respuesta directa a esta fractura. La estrategia no busca negar la infraestructura, sino domesticarla a través de la creación deliberada de nuevos "nodos". Estos nodos se conciben como puntos de sutura urbana; son intervenciones estratégicas ubicadas en esos mismos vacíos que diagnosticamos al principio. El objetivo es transformar las sobras de la planificación en nuevos centros de gravedad social: plazas, equipamientos o zonas de estancia que obliguen a la pausa y fomenten el encuentro. Al insertar estos nodos de actividad a lo largo del corredor, buscamos romper la linealidad monótona del "no lugar" y recoser el tejido urbano fracturado. Se trata, en definitiva, de convertir la barrera en un punto de contacto, logrando que el metro deje de ser una herida abierta en el barrio para convertirse en el eje vertebrador de una nueva identidad urbana, donde la movilidad y la habitabilidad puedan coexistir en equilibrio.

Para que la estrategia de "recoser" el tejido urbano sea efectiva, la intervención física debe trascender la mera decoración y operar una transformación radical en la percepción sensorial del espacio. El desafío principal de diseño en estos nuevos nodos radica en mitigar la hostilidad inherente a la estructura de hormigón y el ruido, creando un microclima que invite a la permanencia y no solo al tránsito acelerado.

La primera operación se centra en el tratamiento del plano del suelo, entendido como el lienzo unificador del espacio público. Para romper la linealidad agresiva de la "senda" vehicular y del metro, se propone un cambio drástico en la pavimentación de los nodos. Se sustituye el asfalto y el adoquín genérico por superficies continuas de texturas rugosas y permeables, utilizando patrones geométricos que interrumpen visualmente el corredor infinito. Este cambio de textura cumple una función táctil y psicológica: al caminar sobre una superficie diferenciada, el peatón percibe inconscientemente que ha entrado en una "zona de estancia", un lugar con jerarquía propia. Además, se plantean despieces de suelo que cruzan transversalmente bajo el viaducto, dibujando en el pavimento las conexiones perdidas entre ambos lados del barrio, guiando el flujo peatonal de oriente a occidente y desafiando la barrera que supone la infraestructura.

En el plano vertical, la presencia masiva de las pilonas y el tablero del metro exige una respuesta paisajística contundente. La vegetación no se utiliza aquí como ornamento, sino como material constructivo de amortiguación. Dada la condición de sombra permanente bajo el viaducto, se selecciona una paleta vegetal de especies umbrófilas y de alta resistencia, que generen un sotobosque denso y vibrante. Este estrato verde tiene la misión de ablandar la dureza del hormigón y, crucialmente, de actuar como filtro acústico y de partículas ante el tráfico rodado adyacente. Se propone, además, la incorporación de jardines de lluvia en los puntos bajos de los nodos, aprovechando la escorrentía del viaducto para crear ecosistemas húmedos que gestionen el agua de forma sostenible y aporten frescura visual, contrarrestando la aridez habitual de los bajopuentes.

La iluminación juega quizás el rol más crítico en la transformación del "no lugar" en un espacio seguro y con identidad. La oscuridad y el efecto "cueva" son los mayores enemigos de la apropiación social bajo estas estructuras. Por ello, la propuesta lumínica huye de la iluminación cenital estándar y apuesta por

una iluminación escenográfica y de escala humana. Se proyecta bañar de luz las columnas del metro desde la base, convirtiendo los elementos estructurales en esculturas de luz que ritman el paseo y aportan seguridad pasiva. Complementariamente, se instala una iluminación cálida y baja, integrada en el mobiliario y la vegetación, diseñada para crear "burbujas de intimidad". Esta luz doméstica permite que, al caer la noche, el nodo no se perciba como un vacío oscuro y peligroso, sino como un vestíbulo urbano habitable, extendiendo las horas de uso del espacio público.

Finalmente, el mobiliario urbano es el encargado de detonar la actividad social y dotar de programa al nodo. Para evitar el vandalismo y responder al uso intensivo, se diseñan elementos robustos de hormigón polimérico y madera tecnológica, pero con geometrías amables y ergonómicas. No se trata solo de colocar bancos alineados, sino de generar topografías artificiales: graderías, plataformas de madera y mesas comunitarias que permitan diversos usos, desde el descanso individual hasta la reunión vecinal o el juego improvisado. En los nodos principales, se integran pequeñas estructuras ligeras —quioscos o pabellones transparentes— que inyectan actividad comercial y vigilancia natural al entorno. Así, a través de la calidez de la madera, la textura del suelo, el frescor de la vegetación y la seguridad de la luz, la imponente infraestructura del metro se domestica, y el espacio residual bajo ella renace como el nuevo corazón cívico del barrio Abraham Lincoln.

CAPÍTULO II: Impactos ambientales

La inserción del viaducto de la Primera Línea del Metro sobre el eje estructurante de la Avenida Primero de Mayo no puede leerse simplemente como una superposición de infraestructura sobre la calzada existente; constituye, en esencia, una reconfiguración radical del metabolismo urbano del sector. A diferencia de las intervenciones a nivel de superficie o subterráneas, la tipología de metro elevado introduce una variable física permanente y masiva: una "cubierta" de hormigón que se extiende a lo largo de kilómetros, generando una modificación drástica de las condiciones microclimáticas preexistentes. En el tramo que atraviesa el barrio Abraham Lincoln, esta nueva morfología altera los ciclos naturales de ventilación e insolación, creando un ecosistema artificial que difiere sustancialmente del entorno abierto original. No estamos hablando solo de la ocupación física de los pilares en el separador, sino de una serie de micro-impactos acumulativos que transforman la termodinámica de la calle: se generan zonas de sombra permanente que afectan la temperatura del suelo y las fachadas, y se modifica el régimen de vientos, creando potencialmente efectos de "túnel de viento" o, peor aún, zonas de estancamiento de aire donde los contaminantes quedan atrapados bajo la estructura del viaducto debido a la falta de dispersión vertical.

El impacto más inmediato y agresivo se manifiesta durante la fase de ejecución, específicamente en las etapas de cimentación profunda y levantamiento de pilonas. En este punto, la afectación ambiental trasciende la molestia temporal para convertirse en una fragmentación severa del corredor ecológico urbano. La Avenida Primero de Mayo, con su separador central arborizado, funcionaba históricamente como un conector biológico y una esponja ambiental. La necesidad ingenieril de excavar para los dados de cimentación y el hincado de pilotes exige el descapote total de la capa orgánica y la tala masiva de individuos arbóreos maduros. Esta acción no es meramente estética; implica la eliminación de la única barrera física capaz de filtrar el material particulado y amortiguar el ruido del tráfico. Al suprimir esta cobertura vegetal, se rompe la continuidad del hábitat para la avifauna local y, críticamente, se expone a los residentes de las viviendas frentistas a una "desnudez ambiental". Sin el follaje que actuaba como tamiz, las fachadas reciben

ahora el impacto directo de las ondas sonoras y la sedimentación de polvo, degradando la habitabilidad del interior de las viviendas y aumentando la vulnerabilidad sanitaria de la población.

Adentrándonos en la dinámica de las emisiones atmosféricas y la huella de carbono, es imperativo establecer una dicotomía temporal en el análisis: el costo ambiental presente frente al beneficio ambiental futuro. Nos encontramos actualmente en una fase de "inversión de carbono". La construcción de una megaobra de infraestructura es, por definición, intensiva en emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La producción de los materiales fundamentales —el clinker para el cemento y la fundición del acero de refuerzo— conlleva una carga de **Carbono Embebido** gigantesca. A esto se suma la operación in situ: el movimiento constante de maquinaria amarilla (pilotadoras, grúas, retroexcavadoras) y la flota logística de camiones mixer y plataformas de transporte de dovelas prefabricadas, que operan casi exclusivamente con motores diésel. Esta combustión genera picos locales alarmantes de óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado fino (PM10 y PM2.5).

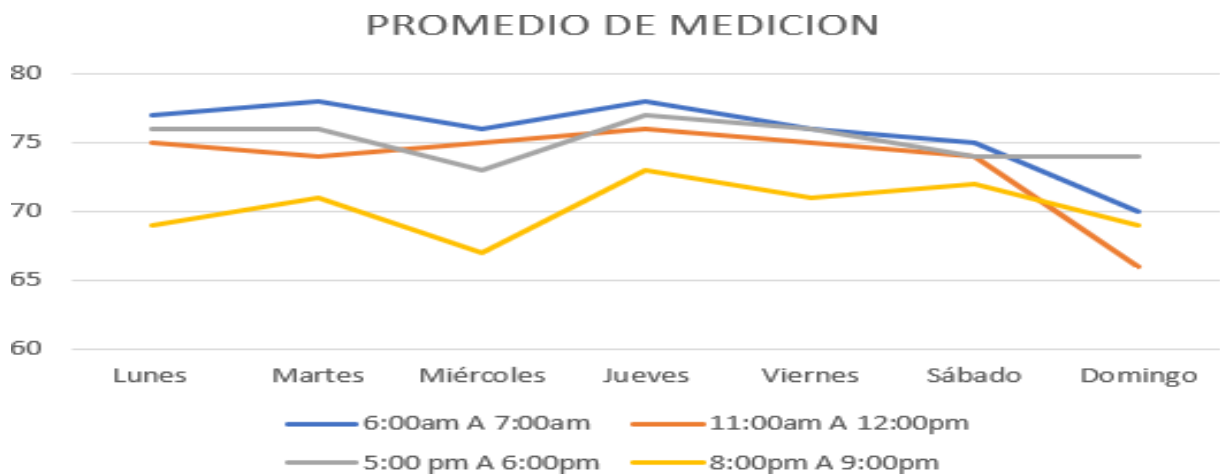
En el contexto específico de Kennedy, una localidad que históricamente presenta índices críticos de calidad del aire debido a su actividad industrial y de carga, la obra del metro actúa como un factor agravante temporal. El polvo de la demolición, sumado a la resuspension de partículas por el rodamiento de camiones sobre superficies sin pavimentar, crea una atmósfera saturada que se sedimenta sobre el espacio público y las edificaciones colindantes. Este fenómeno se ve exacerbado por el "efecto cañón" que comienzan a formar las estructuras temporales y la propia maquinaria, dificultando la dispersión de estos contaminantes. La gestión de esta crisis atmosférica localizada es el desafío técnico más apremiante para la gerencia del proyecto, pues implica equilibrar el ritmo frenético de la construcción con la salud respiratoria de una comunidad densamente poblada.

Sin embargo, el análisis estaría incompleto si no se contrastara este escenario con la "paradoja ambiental" que justifica el proyecto. La premisa fundamental es que esta deuda de carbono adquirida durante la construcción se pagará con creces durante la fase operativa. El metro representa la transición energética del transporte masivo en Bogotá. La sustitución de una flota de cientos de autobuses de combustión interna (SITP y troncales) y la potencial reducción del uso del vehículo particular en el eje de la

Primero de Mayo, reducirá drásticamente las emisiones directas en el largo plazo. La operación de trenes eléctricos, alimentados por una matriz energética nacional mayoritariamente hidráulica y renovable, ofrece un costo por pasajero/kilómetro infinitamente menor en términos de CO2 que cualquier sistema rodado.

El concepto clave aquí es el **Período de Amortización Ambiental**. El proyecto tardará un número determinado de años en "ahorrar" la misma cantidad de carbono que emitió para ser construido. Una vez cruzado ese umbral, el metro se convierte en un activo neto positivo para el medio ambiente. Por tanto, el reto de la ingeniería y la gestión urbana no es detener la obra por sus impactos, sino gestionar la transición. Es vital implementar estrategias de mitigación agresivas durante los años de obra para "aplanar la curva" de la contaminación: uso de barreras perimetrales con mallas antisuciedad de alta densidad, sistemas de lavado de llantas obligatorio a la salida de las zonas de obra para no exportar barro y polvo a la vía pública, y la implementación de cañones de nebulización de agua para abatir el polvo en suspensión durante las excavaciones. Solo mediante un control estricto de estas variables, el barrio Abraham Lincoln podrá sobrevivir al trauma de la construcción para, eventualmente, beneficiarse de un entorno urbano más limpio y una movilidad descarbonizada.

Figura 3
Promedio de medicion



Nota: Elaboracion propia

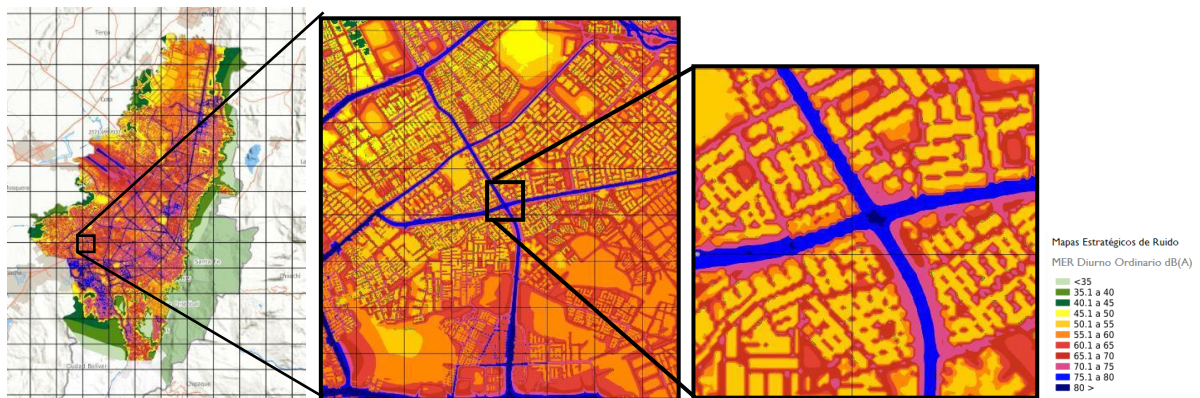
Datos de medición con sonómetro Tomados in situ

Como punto de partida se toman los datos referenciados del Visor Geográfico Ambiental de Bogotá tomados en el año 2019 (último registro de medición) en el sector de Kennedy en intersección de la Av. 1 de mayo con Av. Ciudad de Villavicencio en una medición de día ordinario entre semana son los siguientes.

- 90 metros de distancia del predio está por encima de los 80 dB (decibelios)
- 50 metros está en un rango de 75.1 a 80 dB
- 30 metros está en un rango de 70.1 a 75 dB

Los datos mencionados, sirven como referente de comparación con los datos propios tomados en sitio para ser confrontados. Así entonces, los datos mencionados, se pueden ver reflejados en la siguiente imagen que está en el visor antes mencionado.

Figura 4
Mapa estratégico de Ruido (Localización lote)



Nota: Visor Geográfico Ambienta – Mapa Estratégico de Ruido

De acuerdo con el problema planteado, es importante indicar que para lograr el aislamiento acústico se analizó los elementos o componentes utilizados en los muros de viviendas y de su fachada en general, como la mampostería no estructural y el concreto convencional.

Con el fin de poder encontrar nuevos materiales o elementos que subsanen parcial o totalmente estos problemas de ruido que conllevan a causar enfermedades físicas y mentales a sus habitantes, sin generar

afectaciones estructurales y sobre todo se ajusten a lo prescrito en la normatividad nacional o distrital de ruido permisible en el sector de Kennedy de la ciudad de Bogotá D.C.

La Localidad de Kennedy y Bogotá D.C. en términos amplios ha tenido cambios significativos que conllevan a un aumento de su población y del uso de transporte y de vehículos por vías principales como la Avenida 1ª de Mayo y la Avenida Ciudad de Villavicencio generando cada vez más problemas de ruido.

Esto lleva a buscar diferentes alternativas para mitigar los niveles de ruido exterior hacía el interior de las unidades de vivienda ya sean nuevas o existentes. En las unidades de vivienda ya situadas allí, se buscan soluciones aislantes en el mercado como lo son elementos envolventes para aislamiento acústico prefabricados o materiales que mitigan este problema, dando un mejor confort ya sea porque se usa el espacio como lugar de trabajo, o simplemente para descansar mejor; no solo en los elementos verticales que conforman esta construcción, si no también, los complementarios como las puertas, ventanas cielos rasos entre otros.

De otro lado, para las unidades de vivienda nuevas, se busca implementar directamente desde la construcción de la misma una mezcla de concreto que ya tenga estas características aislantes volviendo complemento de los diferentes elementos que la conforman nombrados anteriormente.

Al respecto, Javier de la Puente en su libro, menciona que, *“la insonorización es el proceso que busca evitar que las ondas de sonido se propaguen entre ciertos espacios.”*; de ese modo las cosas, la citada definición resulta ser fundamental si se quiere hablar sobre aislamiento acústico.

Así mismo, es pertinente mencionar que la insonorización es el proceso que busca evitar que las ondas de sonido se propaguen entre ciertos espacios; y además, a continuación se traerán a colación algunas ilustraciones de vital importancia para el análisis pretendido.

- RUIDO: La afectación de la tranquilidad en las personas se da por la afectación de la tranquilidad a causa de los niveles de ruido por parte de un emisor comúnmente ubicado en el medio ambiente.
- Ruido aéreo: La perturbación en el aire que rodea fuentes sonoras viajan por el aire a diferentes volúmenes.

- Ruido de impacto: El impacto sonoro sobre una superficie genera una vibración y se convierte en foco sonoro.

Así entonces, ratificando el problema de ruido en el sector y sus afectaciones a los habitantes de las viviendas del lugar a causa de que los decibelios registrados ya que no cumplen con los parámetros permitidos en la Resolución número 627 del 07 de abril de 2006, emitida por la Secretaría de Medio Ambiente.

Esta resolución indica que,

Corresponde al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, de acuerdo con los numerales 10, 11 y 14 del investigación 5° de la Ley 99 de 1993, determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general aplicables a todas las actividades que puedan producir de manera directa o indirecta daños ambientales y dictar regulaciones de carácter general para controlar y reducir la contaminación atmosférica en el territorio nacional; Que de conformidad con el investigación 14 del Decreto 948 de 1995, El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, fijará mediante resolución la norma nacional de emisión de ruido y norma de ruido ambiental para todo el territorio nacional, Ver las Resoluciones de la Sec. de Ambiente 6918 y 6919 de 2010 RESUELVE:

CAPITULO III Disposiciones generales”.

Para efectos de este estudio, la base jurídica fundamental es la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta norma regula los estándares máximos permisibles de emisión de ruido y ruido ambiental en Colombia. En su estructura técnica, la resolución adopta las definiciones de la norma ISO 1996 y establece una distinción horaria clave para la medición: un periodo diurno (7:01 a.m. a 9:00 p.m.) y uno nocturno (9:01 p.m. a 7:00 a.m.).

Un aspecto crucial para el análisis en la localidad de Kennedy es el cálculo de la presión sonora, la cual se expresa en Pascales y se mide en decibeles (dB) con filtro de ponderación A. La norma exige que, para determinar si existe contaminación acústica, se comparen los niveles corregidos de presión sonora (LRAeq,T)

frente a los estándares máximos permitidos según el uso del suelo (residencial, comercial, etc.). Las mediciones deben realizarse en intervalos de al menos 15 minutos de captura continua, aplicando correcciones por tonalidad, impulsividad o condiciones meteorológicas si el caso lo amerita.

Federico Miyara Aunado a lo anterior, pese a la tardanza en el inicio de las obras para la construcción del Metro de Bogotá, no se puede desconocer que se han realizado numerosos estudios a fin de definir la viabilidad de su ejecución y el tipo de metro que resulta ser más beneficioso para la ciudad; sin embargo, los resultados obtenidos también han sido útiles para determinar, al menos de forma somera, el impacto ambiental que se podría generar en la ciudad, durante la ejecución de las obras del megaproyecto objeto de estudio.

Al respecto, se ha podido determinar que, derivado de la cimentación del metro, y sus diversas estructuras, se producirán gases nocivos para la salud de los habitantes de los sectores colindantes; toda vez que, aspectos como las demoliciones, excavaciones y el movimiento continuo de materiales, sumados con las corrientes de aire, provocarán un aumento en la contaminación del ambiente.

Lo anterior, se logró determinar a través del estudio realizado por el Consorcio Metro Bogotá –SYSTRA- y la empresa INGETEC, quienes, de forma conjunta, y a través del uso de métodos especializados para la medición de distintos impactos ambientales, realizaron diversos estudios, por medio de los cuales, se logró determinar distintos niveles en aspectos como el ruido, la vibración y la contaminación ambiental en la ciudad de Bogotá; claro está, que dichos resultados, no tienen en cuenta lo que se producirá una vez inicie la construcción del Metro, por lo que, su análisis juicioso previo a la ejecución de las obras, podría disminuir los impactos negativos.

Figura 5

Medición para contaminación

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN
0 - 50	Verde	Buena
51-100	Amarillo	Moderada
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud
301-400	Marrón	Poligrosa
401-500	Marrón	Poligrosa

Nota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010, *Diario Oficial No. 47.661*.

Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes Criterio. En la Tabla 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales se calculan con el promedio geométrico para PST y promedio aritmético para los demás contaminantes.

CAPITULO IV Emisión de ruido

Para determinar con precisión el impacto acústico generado exclusivamente por las actividades constructivas de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) en el sector de Kennedy, no basta con realizar una medición directa del entorno. Según los protocolos técnicos establecidos en la normativa ambiental vigente, es imperativo diferenciar entre el ruido total percibido en el ambiente y el ruido específico generado por la fuente de interés (en este caso, la maquinaria y obras civiles).

Este procedimiento se fundamenta en la validación de los niveles de emisión, la cual requiere un rigor temporal específico. Las mediciones deben efectuarse en intervalos unitarios de tiempo, estandarizados generalmente en una hora, o mediante capturas de información distribuida uniformemente de al menos quince minutos. Esto garantiza que la muestra sea estadísticamente representativa de la actividad de la obra y no el resultado de un evento sonoro aislado o fortuito.

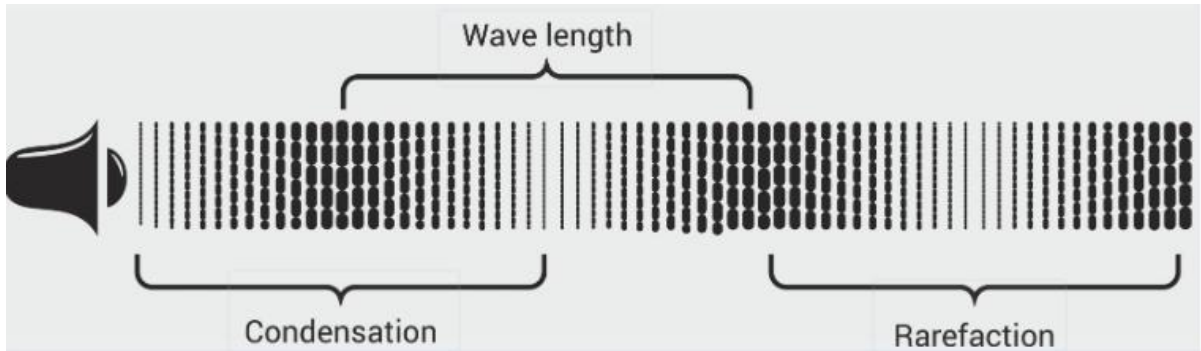
Desde el punto de vista físico-matemático, el desafío radica en "limpiar" la medición. En un entorno urbano denso como el barrio Abraham Lincoln, el sonómetro capta una mezcla de sonidos: el tráfico mixto de la Avenida Primero de Mayo, la actividad comercial y, simultáneamente, la operación de la maquinaria del metro. Por lo tanto, para obtener el **Nivel de Emisión** (el ruido puro de la obra), se debe aplicar un procedimiento de corrección por ruido residual.

El ruido residual se define como aquel que persiste cuando la fuente específica (la obra) detiene su operación. Dado que los decibeles (dB) operan bajo una escala logarítmica y no lineal, no es posible realizar una resta aritmética simple (como restar manzanas). La metodología técnica exige realizar una **sustracción logarítmica de energías**.

El cálculo consiste en tomar el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente corregido LR Aeq,T que incluye todo el ruido del ambiente, y restarle logarítmicamente el Nivel de Ruido Residual LR Aeq,Residual. Esta operación matemática despeja la ecuación y arroja como resultado el aporte energético real de la construcción. En los casos donde no sea posible apagar la fuente para medir el residuo, la norma permite técnicamente utilizar el nivel percentil L90 como un sustituto confiable del ruido de fondo. Este valor

final es el que jurídicamente y técnicamente determina si la obra cumple o excede los límites de convivencia permitidos.

Figura6
Energía de Sonido Moviendose



Nota: (Olympus IMS, s.f.)

Estándares máximos permisibles de emisión de ruido. En la Tabla 1 de la presente resolución se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A (dB(A)): “Ahora bien, entre otro de los aspectos estudiados, se encuentran los niveles de vibración en las áreas de operación, por lo que, se usaron los criterios determinados en las normas internacionales DIN 4150, AS2187.2 (1993) y CALTRANS (2013) y la USBM RI85071; así entonces, lo dicho dejo como resultado que los niveles más altos de vibración, so producidos por el paso de vehículos pesados, de tráfico mixto y actividades de construcción; empero, no en todas las zonas estudiadas los niveles son altos, e incluso, se logró determinar que “los mayores niveles de vibración son clasificados como entre fácilmente

¹ Normas internacionales que regulan aspectos de niveles de vibración.

perceptibles a personas a intenso para personas, pero están por debajo de los límites para maquinaria y atención de estructuras”².

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) constituyen una variable determinante en la evaluación del impacto ambiental asociado a la construcción y puesta en marcha de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), particularmente en el tramo de intervención entre las estaciones primera y cuarta. En primera instancia, durante la fase de ejecución material de la obra, se anticipa una liberación sustancial de emisiones directas e indirectas, atribuible principalmente a la operación intensiva de maquinaria pesada, la logística de transporte de carga y la huella de carbono intrínseca en la producción industrial de insumos estructurales críticos, tales como el hormigón y el acero, necesarios para la excavación de túneles y la cimentación de viaductos.

No obstante, la dinámica de estas emisiones varía significativamente al transitar hacia la fase operativa. En este escenario, la huella de carbono estará supeditada a la naturaleza de la matriz energética que alimente el sistema eléctrico de los trenes; si la generación proviene de fuentes renovables, el impacto atmosférico será mínimo, en contraposición a una dependencia de combustibles fósiles que elevaría considerablemente los niveles de CO₂. A pesar de las externalidades negativas iniciales, la infraestructura se proyecta como un mecanismo de compensación ambiental a largo plazo, al ofrecer una alternativa de transporte masivo eficiente que mitiga la congestión vehicular y reduce la dependencia del transporte individual basado en motores de combustión interna.

En consecuencia, para maximizar el beneficio ambiental del proyecto, resulta imperativo adoptar un enfoque de mitigación integral que trascienda la simple operación. Esto implica la implementación de

² Consorcio Metro Bogotá SYSTRA e INGETEC ingenieros consultores. (2018). *Estudio de Impacto Ambiental y Social del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá* Capítulo 7. Bogotá.

tecnologías de construcción limpias y el uso de materiales con bajo contenido de carbono , así como la promoción de políticas de eficiencia energética y la integración de fuentes renovables, como la energía solar, para el funcionamiento de las estaciones y talleres. De este modo, la PLMB no solo busca resolver problemas de movilidad, sino alinearse con los objetivos de sostenibilidad urbana mediante la electrificación del transporte público y el fomento de la movilidad activa.

Contaminación auditiva

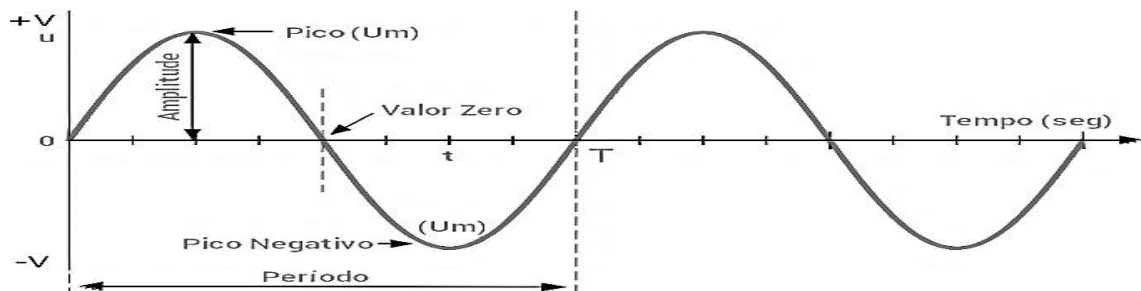
Para comprender la dimensión acústica del territorio, es necesario despojar al sonido de su carga puramente subjetiva y analizarlo, en primera instancia, como un evento físico tangible. Desde esta perspectiva rigurosa, el sonido no es una entidad etérea, sino una perturbación mecánica: una alteración cinética que requiere de un medio material y elástico para existir. Siguiendo los postulados de Miyara sobre la naturaleza de este fenómeno, entendemos que lo que percibimos auditivamente es el resultado de una transferencia de energía a través de la materia. Ya sea en el aire, el agua o los sólidos, el sonido se propaga mediante una reacción en cadena donde las moléculas son empujadas y retraídas, generando variaciones de presión que viajan en forma de ondas longitudinales. Son ciclos constantes de compresión y rarefacción que, aunque invisibles, poseen una fuerza física capaz de impactar el entorno y a quienes lo habitan.

Sin embargo, esta agitación molecular solo adquiere la categoría de "fenómeno sonoro" cuando interactúa con la biología humana. Es en el instante en que estas vibraciones oscilan dentro de la ventana de frecuencia específica —el espectro audible comprendido entre los 20 Hz y los 20.000 Hz— que el sistema auditivo es capaz de transducir la presión mecánica en impulsos nerviosos interpretables. Fuera de estos límites, la vibración existe como infrasonido o ultrasonido, pero dentro de ellos, se convierte en la materia prima de nuestra percepción del mundo. No obstante, en el análisis urbano, la simple presencia de ondas sonoras no es el problema central; el desafío radica en la cualidad y la estructura de dichas ondas. Aquí es donde se establece la distinción crítica y operativa entre sonido y ruido, una diferenciación que trasciende la semántica para adentrarse en la morfología de la onda.

El sonido, en su acepción constructiva —como la palabra hablada o la música—, se define por su periodicidad. Sus ondas mantienen patrones repetitivos, estructuras armónicas y una predictibilidad matemática que el cerebro humano puede decodificar con placer o utilidad. Por el contrario, el ruido, que constituye el objeto central de nuestra investigación en la localidad de Kennedy, es la manifestación del caos acústico. Físicamente, el ruido se caracteriza por su aperiodicidad; es una superposición desordenada y aleatoria de frecuencias sin relación armónica entre sí. Carece de patrón y de estructura, lo que lo convierte en una señal confusa y agresiva para el procesamiento cognitivo.

Al aterrizar estos conceptos en la realidad de la zona de intervención, el ruido deja de ser una abstracción teórica para convertirse en un contaminante ambiental con presencia física. Las fuentes predominantes en el sector —el flujo constante de vehículos pesados, el transporte público y la maquinaria operativa— no emiten notas puras, sino complejos conglomerados de ondas irregulares de alta energía. Estas ondas no solo viajan por el aire, sino que interactúan con la arquitectura: rebotan en las fachadas rígidas, se amplifican en los cañones urbanos y saturan el ambiente. Cuando estas presiones sonoras superan los umbrales de tolerancia fisiológica y psicológica, el ruido deja de ser una simple molestia de fondo y se transforma en un agente patógeno. En el contexto de Kennedy, este "residuo" acústico fragmenta el espacio público tanto como las barreras físicas, impidiendo la comunicación, elevando los niveles de estrés y degradando la calidad habitacional, lo que obliga a considerar la gestión del entorno sonoro como una prioridad ineludible en la propuesta de regeneración urbana.

En cuanto a la acústica arquitectónica, se define el sonido como *“La alteración generada por el sonido se propaga en forma de ondas sonoras por medio transmisor elástico el cual produce variaciones en la presión y vibraciones de las partículas que se perciben por los elementos como instrumentos específicos o el oído, con el movimiento simple de las partículas en forma armónica se puede representar con la siguiente grafica sinusoidal*

Figura 7*Grafica de ondas Sonoras*

Nota: Visor Geográfico Ambiental – Mapa Estratégico de Ruido

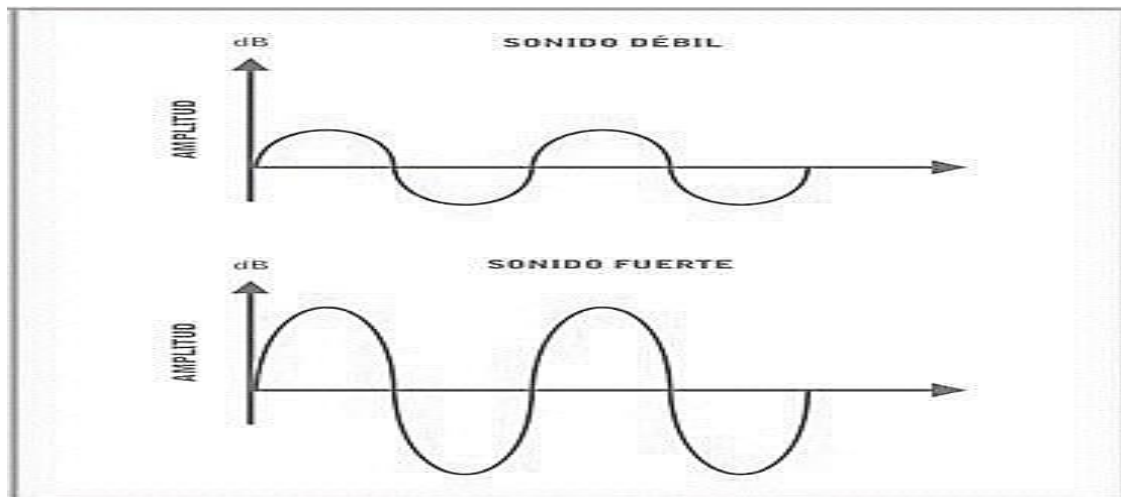
Componentes:

- Frecuencia: cantidad de variaciones en la presión por segundo es lo que se llama frecuencia (n) del sonido y se mide en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo (C/S).
- Tono Puro: La frecuencia del sonido produce un tono distinto pero el sonido de una de las frecuencias se denomina tono puro.
- Periodo: El tiempo representado por (T) es el tiempo se demora en realizar un ciclo en completarse esto se mide en segundos.
- Amplitud: Cada onda se refleja por medio de la magnitud de las variaciones de presión (cuanto más grande la amplitud mayor es la fuerte del sonido).
- Longitud de Onda: Representada por (l) es el espacio que recorre una onda sonora en el tiempo de un ciclo y se mide en metros.
- Velocidad: la rapidez con que se propaga representado por (c) es la velocidad con la que recorren las ondas sonoras. LA velocidad específica del aire es de (340 m/s) el agua (1460 m/s) el vidrio (5000 a 6000 m/s).

Referente acústico:

- Decibelio: Unidad de medida que se emplea para el cálculo del sonido, se fija a partir de la siguiente expresión matemática, basándose en la noción del logaritmo decimal en relación con la magnitud que se pretende calcular presión, potencia e intensidad acústica, como referencia correspondiente al límite de sensibilidad humana respecto a esta magnitud.

Figura 8
Medición de Decibelios



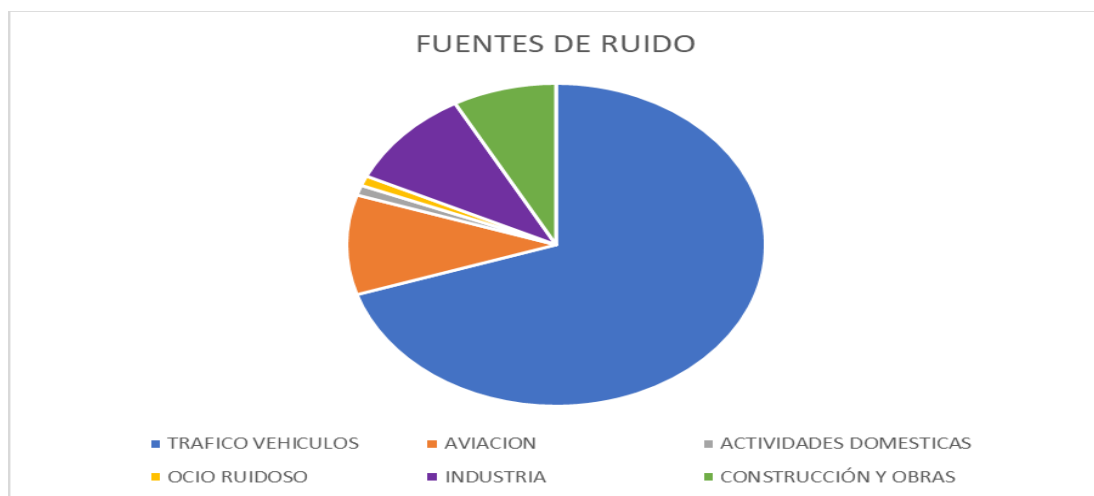
Nota: (Guía Acústica de la construcción -F. Rodríguez & J. De La Punte 2006 p-53)

- Aislamiento acústico: el incremento en la medida dirigida tanto a la disminución de la energía acústica transmitida entre espacios como a la obtención de unos niveles de ruido de fondo para el correcto crecimiento de las actividades en los diferentes espacios en función de su uso.

Cuando las ondas de sonido impactan con una superficie y la presión Sonora genera una vibración que se transfiere incrementando los decibeles.

- Sistema constructivo aislante: La capacidad de los elementos de elementos que poseen la facultad de impedir en mayor o menor medida la transmisión de sonidos entre los espacios en los cuales se usan
- Acondicionamientos acústicos: la acogida de estas medidas encaminadas se ajusta a las características acústicas de los lugares a los cuales están destinados.
- Materiales: La manufacturación en la que está hecha un elemento y los procesos constructivos en los que se implementan los diferentes materiales absorbentes los cuales son porosos, y/o materiales aislantes.
- Concreto: uno del material más usado en el mundo para la construcción el cual sale de la mezcla de materiales como la arena, grava, gravilla y cemento, que sirve como aglutinante.

Figura 9
Grafica de ruido en el sector



Nota: Elaboracion propia de tabulación de fuentes de Ruido

Como se aprecia en la gráfica anterior basada en los estudios investigativos, el tráfico de vehículos es la mayor fuente de emisión de ruido que afecta actualmente la localidad de Kennedy. En esta escala

podemos encontrar transporte público, transporte privado, transporte de carga, vías, avenidas, calles, carreras, autopistas, entre otros que generan un alto grado de contaminación auditiva.

Según estudio realizado por Pacheco, Franco & Behrentz arrojó mayores índices de ruido ambiental en algunas zonas de la ciudad de Bogotá como la localidad de Kennedy de acuerdo con lo dispuesto por la resolución 0627 de 2006.

Contaminación visual

CAPÍTULO V: MARCO NORMATIVO

Normativa actual

Es menester indicar que el desarrollo de una obra de la magnitud del Metro de Bogotá, se deben de tener en cuenta ciertos lineamientos legales, que resultan ser de vital importancia a la hora del desarrollo de la misma; y, además, para el análisis de los aspectos objeto de estudio en el presente proyecto de investigación, la legislación colombiana ya ha trazado ciertos lineamientos, de los cuales, se procederá con su examen a continuación:

La Resolución 627 de 2006 define los estándares máximos posibles de emisión de ruido en dB para zonas residenciales o zonas destinadas al desarrollo habitacional; dicho estándar es de 65 dB en el día y de 55 dB en la noche. Por lo difícil del cumplimiento de dicha norma a nivel distrital, se quiere contrarrestar dicha resolución con el desarrollo de un proyecto de innovación por medio del mejoramiento de una mezcla en concreto con características de aislamiento acústico ya que es uno de los componentes de la construcción que más permite el paso de las ondas sonoras.

Regulación Específica sobre Calidad del Aire y Contaminación Acústica

El marco regulatorio colombiano no debe leerse como un simple listado de restricciones burocráticas, sino como el conjunto de determinantes proyectuales que definen la morfología y la materialidad de la intervención en el espacio público. La evolución de la normativa acústica actúa como una guía de diseño que ha transformado la manera en que entendemos la implantación arquitectónica. Inicialmente, bajo los criterios de la Resolución 8321 de 1983, la planificación se regía por una lógica de zonificación funcional rígida (residencial, industrial, tranquilidad). Para el arquitecto, esto implica que el uso del suelo dicta los umbrales de confort: el diseño no puede ser igual para una vivienda que para una fábrica; la norma impone distancias y "colchones" espaciales para garantizar la salud auditiva de los ocupantes según su actividad.

[Getty Images](#)

[Explorar](#)

Con la evolución hacia un enfoque ambiental preventivo, marcado por el Decreto 948 de 1995, el ruido pasó a considerarse un contaminante físico que afecta el aire. Arquitectónicamente, esto redefine el rol de la envolvente del edificio. La fachada deja de ser solo un elemento estético o de cerramiento para convertirse en un filtro técnico, una barrera activa que debe impedir que las emisiones sonoras trasciendan los límites del predio. Esta exigencia se traduce en especificaciones constructivas precisas gracias a la Resolución 627 de 2006, que establece los estándares de desempeño acústico. El límite de 65 dB para zonas residenciales no es solo una cifra legal, sino un parámetro de cálculo que obliga a diseñar muros, ventanería y aislamientos con coeficientes de transmisión sonora específicos

para garantizar la habitabilidad interior. Se establece así una clara distinción operativa entre el control de la fuente (diseño de la vía/metro) y la protección del receptor (diseño de la vivienda).

En el denso tejido urbano de Bogotá, y específicamente en Kennedy, la normativa local (Resolución 6918 de 2010) introduce el concepto de "paisaje sonoro" como un valor patrimonial a proteger. Esto exige que la intervención del Metro no solo cumpla con reducir decibelios, sino que cualifique el ambiente acústico. Finalmente, la articulación de estas normas en el Decreto Único 1076 de 2015 se convierte en el pliego de condiciones técnicas para el Plan de Manejo Ambiental. Para el equipo de diseño y construcción, esto significa que la infraestructura debe incorporar desde su concepción estrategias de mitigación física: barreras acústicas integradas al viaducto, pavimentos fonoabsorbentes y franjas de amortiguación vegetal, asegurando que la obra civil no vulnere el confort ambiental del barrio Abraham Lincoln.

La Fachada como Filtro: Estrategias de Mitigación Pasiva en la Envolvente Arquitectónica

Ante la imposibilidad técnica de eliminar por completo la fuente de ruido (el tren y su fricción sobre los rieles), la responsabilidad de garantizar el confort interior se traslada a la envolvente de las edificaciones frentistas. La fachada deja de ser simplemente la piel estética del edificio para convertirse en un dispositivo técnico de alto rendimiento, un filtro acústico que debe reducir la presión sonora exterior de niveles críticos a un ambiente interior habitable (idealmente por debajo de los 35-40 dBA en dormitorios). Para lograr este delta de reducción, la intervención arquitectónica se debe centrar quirúrgicamente en los puntos más débiles de la transmisión sonora: las aberturas y la densidad de los muros.

El eslabón más frágil en la cadena de aislamiento es, invariablemente, la carpintería. En el barrio Abraham Lincoln, donde predomina la ventanería tradicional de vidrio monolítico (crudo) y marcos metálicos sencillos, la transmisión del ruido es casi directa. La estrategia de mitigación pasiva exige la sustitución tecnológica de estos elementos por sistemas de **Vidrio de Doble Acristalamiento (DVH)** o

vidrio insulado. No obstante, para frecuencias bajas y vibraciones como las del metro, el simple doble vidrio no es suficiente; se requiere una configuración asimétrica (vidrios de distintos espesores) y, preferiblemente, el uso de vidrios laminados con interláminas de PVB (polivinil butiral) acústico.

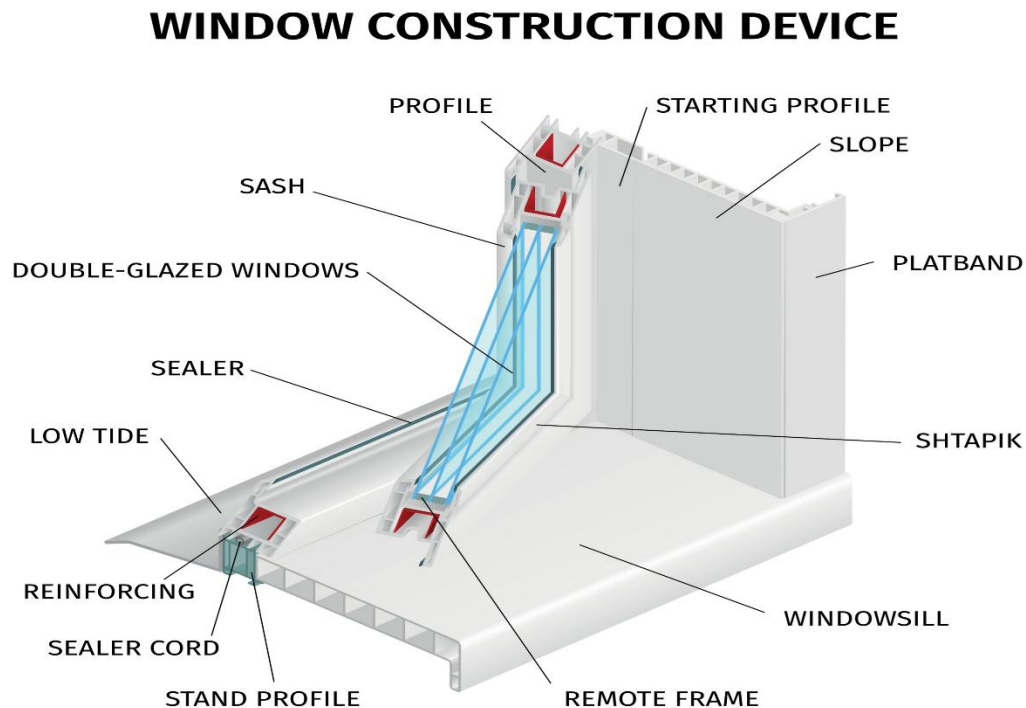
Contexto Distrital (Bogotá D.C.):

La Secretaría Distrital de Ambiente expidió las Resoluciones 6918 y 6919 de 2010 (esta última parcialmente vigente tras la derogatoria de la 6918 por la Resolución 1632 de 2017). Estas normas establecieron metodologías para medir niveles de ruido interior (inmisión) y formularon el Plan Local de Recuperación Auditiva, priorizando localidades críticas como Kennedy, Fontibón y Chapinero.

Este acervo normativo fundamenta la presente investigación, cuyo objetivo es diseñar estrategias arquitectónicas que mitiguen el impacto acústico derivado de la construcción de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB), garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales y de salubridad.

Figura 10

Detalle axonométrico de sistema de ventana con doble acristalamiento



Nota: La ilustración desglosa los componentes de un perfil de ventana de PVC, incluyendo el doble vidriado hermético y las cámaras de aislamiento del marco. Tomado de "Window construction device" [Ilustración], por Macrovector, (s.f.), Freepik.

Instrumentos de Gestión Predial: Servidumbre y Expropiación

Para el desarrollo de infraestructura de transporte masivo, el ordenamiento jurídico dispone de figuras legales específicas para la adquisición y uso del suelo:

A. La Servidumbre Definida en el artículo 879 del Código Civil como "un gravamen impuesto sobre un predio, en utilidad de otro predio de distinto dueño". Estas pueden ser activas o pasivas, continuas o discontinuas. En el contexto de obras públicas, se recurre a la **servidumbre legal**, la cual puede ser impuesta por decisión judicial o administrativa para permitir el paso o la infraestructura necesaria.

B. La Expropiación Administrativa Aunque el proceso general de expropiación se regula en el artículo 399 del Código General del Proceso, para proyectos de utilidad pública e interés social, la **Ley 388 de 1997** (artículos 63 y 64) establece el mecanismo de expropiación administrativa, aplicable cuando existen condiciones de urgencia.

Según jurisprudencia del Consejo de Estado (Sentencia 25000232400020080008901, 2018), este proceso comprende etapas taxativas:

1. **Oferta de compra:** Acto administrativo donde la entidad oferta un precio por el inmueble.
2. **Etapas de negociación:** Periodo para buscar la enajenación voluntaria.
3. **Acto de expropiación:** De no haber acuerdo, se emite resolución motivada ordenando la expropiación y fijando la indemnización.

Aplicación al Caso de Estudio (PLMB - Estación 4) La relevancia de estas figuras se evidencia en la gestión predial realizada por la Empresa Metro de Bogotá S.A. Según respuesta a derecho de petición, para la construcción de la Estación 4 en el barrio Abraham Lincoln (Kennedy), se requirió la gestión de 78 predios. De estos, se perfeccionó la expropiación administrativa sobre ocho inmuebles, de los cuales cuatro se localizan directamente en el barrio objeto de estudio, demostrando el impacto directo de la normativa predial en la transformación urbana del sector.

Plano remitido por la Empresa Metro de Bogotá S.A.

CAPÍTULO VI CONTEXTUALIZACIÓN NORMATIVA Y TEÓRICA DE LA TRANSFORMACIÓN URBANA

La sección de normativa proyectual aborda la coyuntura actual del desarrollo de la infraestructura de transporte en Bogotá, contextualizando la transición desde los estudios preliminares hasta la definición y ejecución de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) bajo la tipología de metro elevado. Este capítulo establece las bases legales y teóricas necesarias para comprender las implicaciones urbanas derivadas de la cimentación de la obra, iniciada recientemente, y los instrumentos jurídicos empleados para la gestión del suelo.

En el ámbito jurídico-administrativo, el documento destaca la figura de la servidumbre como el mecanismo instrumental clave para la adquisición y adecuación de los predios necesarios. Se define la servidumbre como un gravamen impuesto sobre un predio en utilidad de otro de distinto dueño, herramienta indispensable dada la magnitud del proyecto que requiere la intervención de espacios previamente destinados a usos residenciales, comerciales y de ocio. La investigación subraya que estos procesos no solo tienen como fin la construcción de la infraestructura férrea *per se*, sino también la reconfiguración urbanística de la ciudad bajo una nueva perspectiva de movilidad.

Sin embargo, el texto advierte sobre una problemática crítica inherente a estas megaobras: la generación de espacios residuales o vacíos urbanos. Se plantea que, frecuentemente, la planificación de grandes infraestructuras resulta en la aparición de predios remanentes que, al perder su función original y no ser reintegrados efectivamente al tejido urbano, quedan en el olvido, generando impactos negativos directos sobre la calidad de vida de los habitantes de los sectores colindantes.

Para fundamentar el análisis de estos fenómenos, la investigación se apoya en dos referentes teóricos principales. Por un lado, se recurre al concepto de "los no lugares" de Marc Augé, para interpretar la evolución de espacios que, aunque históricamente carecían de reconocimiento, adquieren una importancia vital en la contemporaneidad debido a la evolución social y las dinámicas de tránsito. Por otro lado, se incorpora la perspectiva técnica de José Rene Jiménez Rojas sobre el cálculo y la

afectación de servidumbres en terrenos urbanos, lo cual permite dimensionar la reglamentación y el impacto real de estas figuras legales en la morfología de la ciudad.

En conclusión, la normativa proyectual presentada no se limita a la descripción técnica de la obra, sino que problematiza la relación entre los instrumentos legales de expropiación y servidumbre y sus consecuencias socio-espaciales. El análisis justifica la necesidad de estrategias arquitectónicas que mitiguen el riesgo de fragmentación urbana y eviten que las áreas intervenidas se conviertan en espacios segregados tras la culminación de la infraestructura.

CAPITULO VII MARCO CONCEPTUAL

En la ciudad de Bogotá se han desarrollado diversos estudios a lo largo de los años, a fin de determinar el método más beneficioso respecto al tipo y la construcción del metro; así entonces, luego de diversos debates, recientemente se logró determinar que al menos, en lo que respecta a la primera línea del metro, lo más provechoso para la ciudad sería el desarrollo de un metro elevado.

En ese orden, hace menos de 1 año, se iniciaron ciertas labores a fin de que la cimentación del mismo, se haga de la mejor forma; por tanto, se observa que se ha utilizado la figura jurídica de la servidumbre, que, como se dijo, se refiere a *“un gravamen impuesto sobre un predio, en utilidad de otro predio de distinto dueño”*⁴; desde luego, al ser una obra de gran magnitud, requiere de la adecuación de diversos espacios, en lo que se encontraban lugares de ocio, comercio y hogares; luego entonces, diversos actores involucrados en su construcción, han optado por hacer uso de la cita figura, a fin de obtener

⁴ Investigación 879 Código Civil ss

predios los cuales, en principio, serán utilizados no solo para la construcción en si del metro y todo lo que lo requiere, sino también, para la cimentación de espacios urbanísticos acorde con la nueva perspectiva que se espera, posea la ciudad con la implementación de un medio de transporte tan innovador como el que se pretende.

Aunado a lo anterior, no se debe desconocer que, en ocasiones, las mega construcciones dejan rezagos vacíos, predios que inicialmente debían de ser utilizados con ciertos parámetros y con finalidades determinadas, pero que al final, quedan olvidados, generando así múltiples problemáticas a quienes habitan sectores aledaños.

Dicho lo anterior, la presente investigación pretende basarse, además, en otras obras de investigación, como lo es “Los no lugares” de Marc Auge; texto que desarrolla la idea de lugares que no eran reconocidos en el pasado, pero que, en la actualidad, resultan de vital importancia para el desarrollo de la sociedad, dado que, a lo largo de la evolución de la sociedad, se han ido desarrollando nuevos lugares, que antes, no eran importantes para el normal funcionamiento de la cotidianidad del hombre.

De otro lado, textos producto de la investigación efectuada en el campo de la academia como lo es el “Efecto implicación calculo servidumbre en terreno urbano de acuerdo con su afectación en Valledupar” de José Rene Jiménez Rojas; que, en resumen, por medio de una situación real en que se usara la figura de la servidumbre, logra definir y determinar su reglamentación.

CAPITULO VIII MARCO REFERENCIAL

El Marco Referencial constituye el sistema de coordenadas epistemológicas y empíricas que permiten situar el problema de investigación, integrando un conjunto de variables teóricas y disciplinares que sustentan la literatura selectiva y los antecedentes del proyecto . En este sentido, la

presente investigación se circunscribe espacialmente a la localidad de Kennedy, específicamente en el barrio Abraham Lincoln, zona de influencia directa de la construcción de las estaciones 3 y 4 de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB). Este sector experimenta una transformación morfológica acelerada debido a los procesos de gestión predial y demolición, por lo cual, para la caracterización del área de estudio, se emplean ilustraciones cartográficas y fotografías aéreas obtenidas mediante levantamiento con drones, permitiendo identificar con precisión la trama urbana existente y los predios afectados por las servidumbres.

Desde una perspectiva teórica, el análisis espacial se fundamenta en dos categorías conceptuales críticas para entender la fragmentación urbana. En primer lugar, siguiendo a Berruete Martínez, se aborda el concepto de "vacío urbano", entendido como aquellas áreas sin un futuro inmediato a las que el planeamiento no ha otorgado una viabilidad de uso definida. En el contexto de la PLMB, los predios remanentes de las expropiaciones y las zonas bajas del viaducto constituyen estos vacíos que, al carecer de contenido físico o actividad programada, generan discontinuidad en el tejido urbano. En segundo lugar, se adopta la teoría de Marc Augé sobre los "no lugares" para describir espacios de transitoriedad y anonimato que, aunque carecen de identidad histórica relacional, son vitales para la circulación moderna. La infraestructura del metro corre el riesgo de convertir el espacio público colindante en un "no lugar" si no se implementan estrategias de diseño integradoras, tal como se ilustra en los diagramas conceptuales que relacionan la demolición en masa con la segregación espacial.

En el ámbito ambiental y técnico, se toman como antecedentes directos los estudios realizados por el Consorcio Metro Bogotá (SYSTRA e INGETEC), los cuales modelaron los impactos preliminares. La investigación profundiza en la variable acústica, contrastando la normativa con la realidad física mediante el uso de gráficas estadísticas y mapas de calor. Estos instrumentos visualizan la dispersión del ruido, evidenciando que el tráfico vehicular y las obras civiles son las fuentes predominantes de

contaminación auditiva. Los mapas estratégicos, basados en datos del Visor Geográfico Ambiental, demuestran que a 90 metros del eje de la vía los niveles de presión sonora superan los 80 dB, excediendo los límites normativos y justificando la necesidad de intervención.

Finalmente, el marco referencial integra tecnologías de vanguardia para la captura y gestión de la información territorial, esenciales para la precisión del análisis proyectual. Se emplean sistemas LiDAR y fotogrametría como métodos de captura de la realidad para generar nubes de puntos y ortofotos precisas, superando las limitaciones de los planos catastrales bidimensionales. Asimismo, se utilizan esquemas físicos para explicar fenómenos complejos como la propagación de ondas sonoras, ilustrando mediante diagramas de ondas sinusoidales variables determinantes como la amplitud, la longitud de onda y el periodo

. De este modo, el soporte gráfico de la investigación —compuesto por gráficas cuantitativas, diagramas conceptuales, evidencia fotográfica y modelados BIM— no solo ilustra, sino que valida empíricamente los hallazgos sobre la transformación urbana del sector.

Aspectos Metodológicos

La presente investigación se enmarca en un enfoque mixto con preponderancia cualitativa. Se clasifica como cualitativa dado que su objetivo principal es analizar fenómenos urbanos y sociales complejos, tales como la percepción de inseguridad, la generación de vacíos urbanos y las dinámicas de segregación espacial derivadas de la imposición de servidumbres. Este enfoque permite describir e interpretar las afectaciones directas sobre la calidad de vida de los habitantes del barrio Abraham Lincoln.

Simultáneamente, el estudio integra componentes cuantitativos mediante la recolección y análisis de datos numéricos, específicamente en la medición de niveles de presión sonora (decibeles) y el dimensionamiento geoespacial de los predios afectados, lo que permite triangular la información subjetiva con datos empíricos verificables.

Alcance y Diseño de la Investigación con el estudio posee un alcance descriptivo y propositivo. En su fase descriptiva, caracteriza la situación actual de los predios colindantes a las estaciones 3 y 4 de la PLMB, identificando las patologías urbanas (ruido, contaminación, deterioro visual). En su fase propositiva, formula estrategias de diseño arquitectónico y urbano para mitigar dichos impactos.

El diseño es no experimental, transversal y de campo:

No experimental: No se manipulan las variables ambientales, sino que se observan en su estado natural.

Transversal: La recolección de datos se realiza en un momento único y determinado (fase de cimentación y pre-construcción).

De campo: La información se obtiene directamente de la realidad en la localidad de Kennedy, complementada con un diseño documental para el análisis jurídico de normativas y expedientes de expropiación.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para garantizar la rigurosidad científica, se emplearon tres categorías de instrumentos:

Instrumentos de Análisis Ambiental (Acústica)

Para la caracterización del paisaje sonoro y la contaminación auditiva, se utilizó la técnica de sonometría *in situ*.

Protocolo: Se realizaron mediciones en intervalos de 15 minutos en diferentes franjas horarias (diurna y nocturna), siguiendo los lineamientos de la Resolución 627 de 2006.

Instrumentos: Sonómetro calibrado y fichas de registro de datos.

Validación: Los resultados obtenidos en campo fueron contrastados con los datos históricos del Visor Geográfico Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente (mapas estratégicos de ruido de 2019) para establecer una línea base comparativa.

Instrumentos de Levantamiento Tecnológico (BIM y Geomática)

Dada la complejidad de la infraestructura, se implementaron tecnologías de captura de realidad y modelado de información para obtener una representación precisa del entorno físico.

Fotogrametría y Vuelo de Drones: Se emplearon vehículos aéreos no tripulados (drones) para realizar levantamientos aerofotogramétricos, permitiendo la generación de ortofotos y nubes de puntos del sector de intervención.

Sistemas LIDAR y GNSS: Se utilizó tecnología de detección por luz y distancia (LIDAR) combinada con sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) para garantizar la precisión posicional de los modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS).

Modelado BIM: La información capturada se procesó bajo la metodología *Building Information Modeling*, asegurando la gestión integral de la información y permitiendo simulaciones espaciales precisas.

Instrumentos Sociales y Documentales

Encuestas y Entrevistas: Se aplicaron instrumentos de consulta a los residentes de las zonas colindantes y a actores involucrados en los procesos jurídicos, con el fin de identificar la percepción sobre las servidumbres y la expropiación.

Revisión Normativa: Análisis de expedientes de la Empresa Metro de Bogotá y jurisprudencia sobre expropiación administrativa y servidumbres en las Fases de la Investigación

El desarrollo metodológico se estructuró en cuatro etapas lógicas:

Fase de Diagnóstico: Recopilación de información normativa, teórica (vacíos urbanos, no lugares) y contextual del sector Kennedy.

Fase de Trabajo de Campo: Ejecución de mediciones acústicas, vuelos de dron para levantamiento topográfico y aplicación de encuestas.

Fase de Procesamiento y Análisis: Digitalización de nubes de puntos, modelado BIM, tabulación de niveles de ruido y triangulación con la normativa ambiental vigente.

Fase Propositiva: Desarrollo del diseño arquitectónico de mitigación (fachadas acústicas) y propuesta urbana para la articulación de los espacios residuales (servidumbres) como nuevos nodos de espacio público.

Recolección de Datos

Para garantizar la rigurosidad científica, se emplearon tres categorías de instrumentos:

A. Instrumentos de Análisis Ambiental (Acústica)

Para la caracterización del paisaje sonoro y la contaminación auditiva, se utilizó la técnica de **sonometría *in situ***.

- **Protocolo:** Se realizaron mediciones en intervalos de 15 minutos en diferentes franjas horarias (diurna y nocturna), siguiendo los lineamientos de la **Resolución 627 de 2006**.
- **Instrumentos:** Sonómetro calibrado y fichas de registro de datos.
- **Validación:** Los resultados obtenidos en campo fueron contrastados con los datos históricos del Visor Geográfico Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente (mapas estratégicos de ruido de 2019) para establecer una línea base comparativa.

B. Instrumentos de Levantamiento Tecnológico (BIM y Geomática)

Dada la complejidad de la infraestructura, se implementaron tecnologías de captura de realidad y modelado de información para obtener una representación precisa del entorno físico.

- **Fotogrametría y Vuelo de Drones:** Se emplearon vehículos aéreos no tripulados (drones) para realizar levantamientos aerofotogramétricos, permitiendo la generación de ortofotos y nubes de puntos del sector de intervención.
- **Sistemas LiDAR y GNSS:** Se utilizó tecnología de detección por luz y distancia (LiDAR) combinada con sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) para garantizar la precisión posicional de los modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS).
- **Modelado BIM:** La información capturada se procesó bajo la metodología *Building Information Modeling*, asegurando la gestión integral de la información y permitiendo simulaciones espaciales precisas.

C. Instrumentos Sociales y Documentales

- **Encuestas y Entrevistas:** Se aplicaron instrumentos de consulta a los residentes de las zonas colindantes y a actores involucrados en los procesos jurídicos, con el fin de identificar la percepción sobre las servidumbres y la expropiación.
- **Revisión Normativa:** Análisis de expedientes de la Empresa Metro de Bogotá y jurisprudencia sobre expropiación administrativa y servidumbres.

4. Fases de la Investigación

El desarrollo metodológico se estructuró en cuatro etapas lógicas:

1. **Fase de Diagnóstico:** Recopilación de información normativa, teórica (vacíos urbanos, no lugares) y contextual del sector Kennedy.
2. **Fase de Trabajo de Campo:** Ejecución de mediciones acústicas, vuelos de dron para levantamiento topográfico y aplicación de encuestas.
3. **Fase de Procesamiento y Análisis:** Digitalización de nubes de puntos, modelado BIM, tabulación de niveles de ruido y triangulación con la normativa ambiental vigente.

4. **Fase Propositiva:** Desarrollo del diseño arquitectónico de mitigación (fachadas acústicas) y propuesta urbana para la articulación de los espacios residuales (servidumbres) como nuevos nodos de espacio público.

Es la configuración del resultado de la investigación, éste tiene que ver con la descripción de los aspectos metodológicos que se desarrollaron en la misma, debe ser elaborado con la claridad, rigor y consistencia.

Análisis y Discusión de Resultados

El capítulo de **Análisis y Discusión de Resultados** constituye el eje central de la investigación, pues trasciende la mera presentación de datos (estadísticos, planimétricos o normativos) para generar una interpretación crítica de los mismos. En esta sección, se debe realizar una **triangulación** entre la información recolectada en campo, el marco teórico-normativo y los objetivos planteados inicialmente.

Para el caso específico del impacto de la PLMB en Kennedy y la aplicación de tecnologías BIM, la discusión debe abordarse desde tres dimensiones analíticas:

1. Contrastación Normativa vs. Realidad Ambiental (Acústica)

El análisis debe evidenciar la brecha existente entre la norma y la realidad física del sector.

- **El Hallazgo:** Las mediciones *in situ* arrojaron niveles superiores a los **80 dB** a 90 metros del predio y rangos de **75-80 dB** a 50 metros.
- **La Discusión:** Al contrastar estos datos con la **Resolución 627 de 2006**, que establece un límite máximo de **65 dB** en jornada diurna para zonas residenciales, se confirma una vulneración sistemática de los estándares de calidad ambiental.
- **Interpretación:** La discusión aquí no es solo decir que "hay ruido", sino argumentar que las fuentes predominantes (tráfico mixto y maquinaria) convierten al sector en una zona crítica de

contaminación auditiva, validando la necesidad imperiosa de la propuesta de diseño (aislamiento en concreto) planteada en la investigación.

2. Transformación Morfológica y Gestión Predial (Urbanismo)

Se debe analizar cómo las figuras jurídicas alteran el tejido social y físico.

- **El Hallazgo:** La identificación de **78 predios** requeridos para la Estación 4 y la expropiación administrativa de inmuebles en el barrio Abraham Lincoln.
- **La Discusión:** Se debe interpretar cómo la imposición de **servidumbres** fragmenta la continuidad urbana, creando lo que Berruete Martínez define como "vacíos urbanos".
- **Interpretación:** Estos espacios residuales, si no se intervienen, corren el riesgo de convertirse en "no lugares" (Augé) o focos de inseguridad. El análisis debe justificar por qué la intervención arquitectónica propuesta (núcleos articuladores y sendas deportivas) es la respuesta correcta para reintegrar estos bordes físicos generados por el viaducto del metro.

3. Validación Tecnológica y Metodológica (Diplomado BIM)

En este apartado, se discute la pertinencia de las herramientas utilizadas para el levantamiento y gestión de la información.

- **El Hallazgo:** La integración de **LiDAR, Fotogrametría y GNSS** permitió generar nubes de puntos y modelos digitales precisos del terreno afectado.
- **La Discusión:** Se argumenta que, para proyectos de infraestructura lineal de gran impacto como la PLMB, los métodos tradicionales son insuficientes. La implementación de la metodología **BIM** bajo la norma **ISO 19650** no es opcional, sino crítica para gestionar la complejidad de los datos (superposición de predios, redes y estructuras nuevas).
- **Interpretación:** La tecnología actúa aquí como garante de la precisión jurídica y técnica. El análisis demuestra que el uso de estas herramientas reduce la incertidumbre en los procesos de

expropiación y permite simular con mayor exactitud las afectaciones (sombras, ruido, visuales) antes de la construcción física.

CAPITULO IX DIPLOMADO BIM

Introducción

En el contexto actual de la arquitectura, la ingeniería y la cartografía, las tecnologías digitales han transformado de manera profunda los procesos de levantamiento, modelado y representación espacial. La creciente necesidad de exactitud, eficiencia y estandarización ha impulsado la implementación de metodologías como el Building Information Modeling (BIM), el uso de tecnologías de sensores remotos como el LiDAR, los sistemas de posicionamiento global basados en GNSS, y los procesos de fotogrametría digital asistidos por drones. Estos avances han permitido generar productos cartográficos más precisos, accesibles y dinámicos, integrando grandes volúmenes de datos en modelos útiles para la toma de decisiones.

El propósito de esta monografía es analizar los fundamentos y aplicaciones de estas tecnologías, así como destacar su importancia en el desarrollo de productos cartográficos modernos. La estructura del documento abarca desde los estándares BIM hasta los procesos fotogramétricos y de orientación, concluyendo con una reflexión sobre el impacto de estas herramientas en la práctica profesional.

Normas y estándares BIM

Desde la óptica rigurosa de un Analista BIM, el abordaje de una infraestructura de la magnitud del Metro de Bogotá exige un cambio de paradigma: debemos dejar de ver el proyecto como una colección de planos y geometrías 3D para entenderlo como la construcción de una gran base de datos relacional y espacial. La implementación de la metodología BIM aquí no es un fin estético, sino un sistema integral de gestión de la información que debe sostener la verdad del proyecto a lo largo de décadas. En este sentido,

la adhesión a la norma ISO 19650 no es un mero cumplimiento burocrático, sino la columna vertebral que estructura el Entorno Común de Datos (CDE).

Esta normativa nos permite orquestar el flujo de información, definiendo con precisión cómo se crea, se comparte y se aprueba cada dato, asegurando que pasemos de manera controlada de un Modelo de Información del Proyecto (PIM) durante la etapa de diseño y construcción, a un Modelo de Información del Activo (AIM) fiable para la operación futura. Sin este marco de gobernanza, el volumen masivo de datos generados por cientos de actores colapsaría en silos de información desconectados.

La complejidad técnica del metro, donde convergen la ingeniería civil, la arquitectura de estaciones, los sistemas ferroviarios y las redes MEP (mecánicas, eléctricas y de plomería), hace que la interoperabilidad sea el desafío técnico más crítico a resolver. Aquí, la estrategia OpenBIM mediante el uso del formato IFC (Industry Foundation Classes) se convierte en una herramienta no negociable de supervivencia del dato. Como analistas, no utilizamos el IFC simplemente como un archivo de exportación, sino como el contenedor neutral que garantiza la preservación de la semántica del modelo. Esto significa que cuando un ingeniero estructural exporta una viga o una pila, el arquitecto o el gestor de instalaciones no recibe solo una forma geométrica, sino un objeto inteligente con parámetros definidos. Esta capacidad de federar modelos provenientes de distintos softwares nativos en un único entorno coordinado es lo que nos permite ejecutar procesos avanzados de detección de interferencias (clash detection) y validación normativa antes de que se vierta el primer metro cúbico de hormigón, mitigando riesgos financieros y de cronograma.

Sin embargo, la geometría y la coordinación son solo la mitad de la ecuación; la otra mitad es la "I" de Información, vital para el Facility Management. Aquí es donde la implementación del estándar

COBie (Construction Operations Building Information Exchange) actúa como el puente traductor entre la fase de construcción (CAPEX) y la fase de operación (OPEX). El analista BIM configura el modelo para que, mediante "data drops" o entregas de datos estructurados, se pueda poblar automáticamente el software de gestión de mantenimiento del operador del metro. Para que esto funcione, es imprescindible que cada elemento del modelo hable el mismo idioma, razón por la cual nos apoyamos en los marcos de clasificación de la ISO 12006 (como UniClass o OmniClass). Esta taxonomía estandarizada permite que, independientemente de quién modele un objeto, este tenga un código único y jerarquizado, garantizando que no haya pérdida de datos críticos y que el activo digital sea una réplica fidedigna y funcional del activo físico, lista para ser gestionada desde el día uno de su operación.

Figura 12

Diagrama de Gestión de la información



Nota. Elaboración propia

Fundamentos del sistema LiDAR

Para garantizar el éxito técnico en la intervención del sector de Kennedy, la obtención de una base topográfica fidedigna no puede limitarse a los levantamientos planimétricos tradicionales. La complejidad de la trama urbana, sumada a la densidad de la arborización existente y la infraestructura vial, exige la implementación de sistemas de captura masiva de datos de alta fidelidad. En este contexto, la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) se establece como el estándar indispensable de teledetección activa. A diferencia de los sensores pasivos, como las cámaras fotográficas que dependen de la luz solar reflejada, el LiDAR es un sistema activo: genera su propia energía emitiendo pulsos de luz láser (generalmente en el espectro infrarrojo cercano) hacia la superficie terrestre.

El principio físico que rige esta operación es la medición del "Tiempo de Vuelo" (Time of Flight). El sensor emite cientos de miles de pulsos por segundo y cronometra con precisión de nanosegundos el tiempo que tarda cada haz de luz en rebotar contra un objeto y regresar a la fuente. Esta capacidad de medir la distancia basándose en la velocidad de la luz permite reconstruir la morfología del terreno con una precisión milimétrica, capturando no solo la posición, sino también la intensidad del retorno, lo que ayuda a identificar la naturaleza material de las superficies impactadas (asfalto, hormigón o vegetación).

Sin embargo, la ventaja competitiva más crítica del LiDAR para el proyecto en Kennedy radica en su capacidad de "penetración" o, más técnicamente, su capacidad de registrar **múltiples retornos**. Cuando un pulso láser se encuentra con vegetación densa, el haz de luz no choca contra una pared sólida; una parte de la energía golpea las hojas superiores (primer retorno), pero el resto del haz se fragmenta y continúa descendiendo, golpeando ramas intermedias y, finalmente, alcanzando el suelo (último retorno). Mientras que la fotogrametría solo capturaría la "copa" de los árboles, generando una superficie falsa, el procesamiento de datos LiDAR permite clasificar y filtrar estos rebotes. Al descartar los primeros retornos (vegetación y mobiliario urbano) y conservar solo los últimos, los ingenieros pueden desnudar digitalmente el terreno para obtener un **Modelo Digital del Terreno (MDT)** real, revelando la topografía

exacta que yace oculta bajo los árboles, un dato crítico para el cálculo de movimientos de tierra y cimentaciones.

Para que esta nube de millones de puntos tenga validez cartográfica, el sistema debe resolver un desafío cinético: el escáner se mueve a gran velocidad a bordo de un dron o aeronave. Aquí entra en juego la integración de la triada tecnológica. El escáner láser captura la geometría relativa; el receptor **GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite)** fija la posición absoluta (coordenadas X, Y, Z) de la aeronave en el espacio geográfico; y, fundamentalmente, la **IMU (Unidad de Medición Inercial)** registra la actitud de la nave, compensando en tiempo real las variaciones de rotación (roll, pitch, yaw) causadas por el viento o las maniobras de vuelo. La sincronización de estos tres componentes garantiza que cada punto láser disparado sea georreferenciado con exactitud en el sistema de coordenadas del proyecto (como MAGNA-SIRGAS en Colombia).

El producto final de este despliegue tecnológico es un archivo masivo de datos (.LAS o .LAZ), conocido como Nube de Puntos. Esta nube no es una simple imagen 3D, sino una base de datos volumétrica densa y clasificada. En el flujo de trabajo BIM, esta nube se convierte en la "verdad de campo". Se inserta directamente en el software de autoría (como Revit o Civil 3D) para servir de calco tridimensional. Los modeladores ya no trabajan sobre suposiciones o interpolaciones de curvas de nivel cada 5 metros, sino que modelan la infraestructura nueva basándose en una representación digital que captura con fidelidad desde el bordillo de la acera hasta la catenaria de los postes existentes, asegurando una integración perfecta entre la obra nueva y el entorno construido.

GNSS y sistemas de posicionamiento global

La precisión cartográfica del proyecto se sustenta en el uso de Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), los cuales utilizan constelaciones como GPS, GLONASS o Galileo para determinar

coordenadas espaciales precisas. En el flujo de trabajo cartográfico, el GNSS es vital para establecer los 'Puntos de Control Terrestre' (GCP), marcas físicas en el suelo que permiten georreferenciar y ajustar los modelos digitales obtenidos mediante drones.

Complementariamente, se emplea la fotogrametría digital aérea para generar ortofotos y modelos de superficie. Esta técnica reconstruye la geometría 3D a partir de la superposición de imágenes bidimensionales capturadas secuencialmente. Al procesar estas imágenes mediante algoritmos de correlación, y ajustarlas con los puntos de control GNSS, se obtienen productos visuales de alta resolución (ortofotomosaicos) que permiten analizar el estado actual de los predios, las vías y el entorno urbano impactado por la obra.

Procesos fotogramétricos y orientaciones

Dentro de la fotogrametría existen procesos denominados orientaciones, que son necesarios para transformar fotografías en productos cartográficos. La orientación interior busca reproducir las condiciones geométricas de la cámara en el momento de la toma, considerando parámetros como la distancia focal y el punto principal. La orientación relativa se encarga de hacer coincidir los puntos homólogos en pares estereoscópicos de fotografías, permitiendo la percepción de profundidad y la reconstrucción en tres dimensiones. La orientación absoluta, por su parte, establece la relación entre el modelo tridimensional generado y el sistema de coordenadas del terreno real, para lo cual se emplean puntos de fotocontrol.

Las rotaciones conocidas como Omega, Phi y Kappa representan los giros alrededor de los ejes X, Y y Z respectivamente. Omega y Phi se relacionan con los cambios de pendiente del relieve, mientras que Kappa depende directamente de la trayectoria seguida por el avión o el dron durante el vuelo.

El fotocontrol es el proceso de materializar en campo puntos de referencia visibles en las fotografías, cuyas coordenadas se determinan con precisión mediante GNSS. Estos puntos son indispensables para ajustar los modelos y garantizar su exactitud. Existen también puntos de chequeo, empleados para verificar la calidad de los productos cartográficos resultantes.

Conclusiones Diplomado BIM

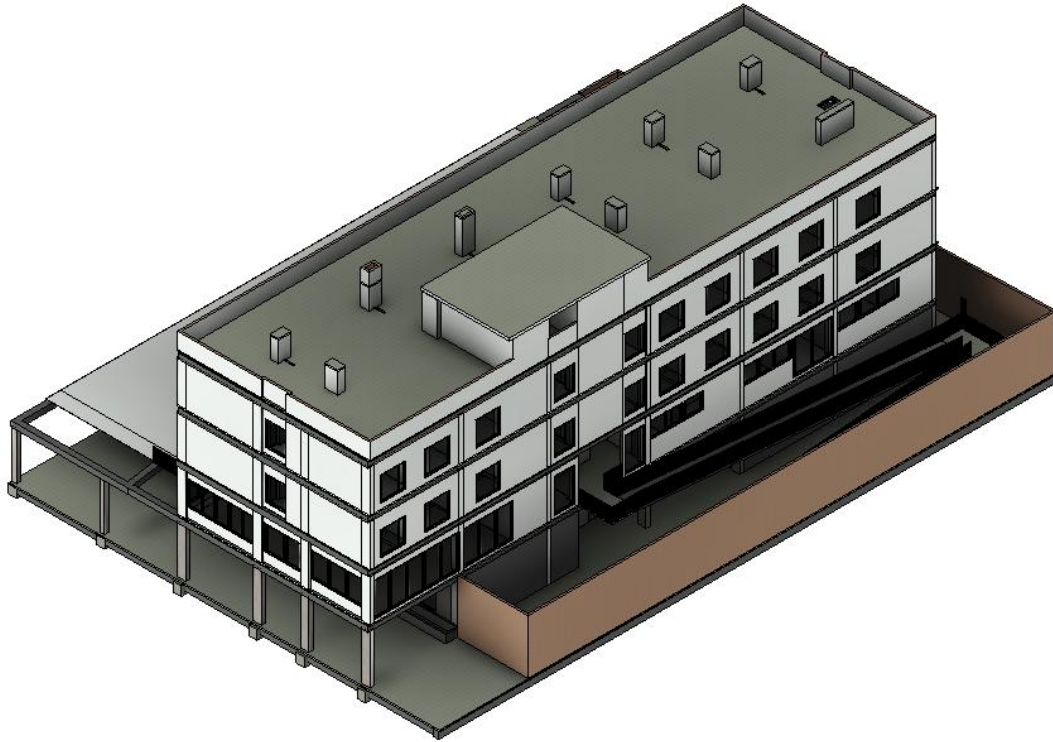
La integración de metodologías como BIM y tecnologías como LiDAR, GNSS y fotogrametría constituye un avance fundamental en los procesos de representación cartográfica. Cada una de estas herramientas aporta beneficios específicos: el BIM organiza y estandariza la información de proyectos, el LiDAR ofrece nubes de puntos de alta precisión, el GNSS asegura un posicionamiento exacto y la fotogrametría permite obtener imágenes y modelos detallados.

El uso de drones ha democratizado el acceso a estas tecnologías, reduciendo costos y tiempos, y facilitando el levantamiento en zonas de difícil acceso. Asimismo, la existencia de normas y estándares internacionales asegura la interoperabilidad entre softwares y disciplinas, garantizando resultados consistentes y de calidad.

En conclusión, estas tecnologías no deben considerarse de forma aislada, sino como parte de un ecosistema digital interconectado que impulsa la transformación de la arquitectura, la ingeniería y la cartografía. Su implementación abre la puerta a nuevos modelos de gestión del territorio y de las construcciones, aportando eficiencia, sostenibilidad y precisión en la toma de decisiones. Deben expresarse en forma clara, concisa y consistentemente, los resultados, hallazgos y descubrimientos obtenidos, expresados en forma de textos explicativos que pueden complementarse con tablas y/o

Figura 13

modelo 3D Propuesta Hotel Metro Kennedy



Nota: Elaboracion propia

Recomendaciones

Con base en los hallazgos técnicos expuestos, se recomienda:

Adopción de Estándares Abiertos: Para asegurar la colaboración efectiva en entornos multidisciplinares, es imperativo priorizar el uso de formatos abiertos como IFC y COBie. Esto garantiza la interoperabilidad y evita la pérdida de información al transferir modelos entre arquitectos, ingenieros y constructores.

Planificación Rigurosa de Vuelos: En el uso de drones para fotogrametría, se debe definir con precisión la altura de vuelo, el GSD (Ground Sample Distance) y el traslape de imágenes (longitudinal y

lateral) para asegurar la resolución y calidad requerida del producto final. Asimismo, es necesario cumplir con las regulaciones de la Aeronáutica Civil colombiana según el peso y finalidad del equipo.

Uso de Puntos de Control (Fotocontrol): Para garantizar la precisión geométrica de los modelos tridimensionales (MDT y MDS), es fundamental la materialización en campo de puntos de fotocontrol y puntos de chequeo, cuyas coordenadas deben ser determinadas mediante sistemas GNSS.

Gestión de Residuos y Materiales: Dada la escala de los proyectos de infraestructura que utilizan estas tecnologías, se debe considerar la evaluación de materiales alternativos y tecnologías limpias para mitigar el impacto ambiental a largo plazo

GLOSARIO

Aislamiento acústico. Proceso y conjunto de medidas constructivas dirigidas a disminuir la transmisión de energía acústica entre espacios, con el fin de obtener niveles de ruido de fondo adecuados para el desarrollo de actividades específicas.

BIM (Building Information Modeling). Metodología integral para la gestión de la información de un proyecto de construcción durante todo su ciclo de vida, que permite la colaboración multidisciplinaria y la interoperabilidad mediante estándares internacionales.

Bordes. Elementos lineales que el observador no usa como sendas, sino que percibe como límites o rupturas en la continuidad urbana, tales como muros, cruces de ferrocarril o construcciones que dividen una zona .

Contaminación auditiva. Fenómeno que ocurre cuando los niveles de sonido se convierten en un problema para la salud o el bienestar, superando los límites ajustados a la actividad que se desarrolla (por ejemplo, superar los 30 dB para dormir) .

Decibelio (dB). Unidad de medida logarítmica empleada para expresar la magnitud del sonido (presión, potencia o intensidad acústica), tomando como referencia el límite de sensibilidad del oído humano.

Distritos. Secciones de la ciudad de tamaño considerable, concebidas como áreas bidimensionales, que el observador percibe por tener un carácter común o identificable desde el interior.

Expropiación administrativa. Procedimiento mediante el cual una entidad estatal adquiere un inmueble de propiedad privada por motivos de utilidad pública o interés social, previo proceso de oferta de compra y, en caso de no haber acuerdo, mediante resolución administrativa e indemnización.

Fotogrametría. Ciencia y técnica que permite obtener mediciones precisas y modelos tridimensionales a partir de fotografías, utilizando principios de geometría proyectiva y visión estereoscópica.

GNSS (Global Navigation Satellite System). Conjunto de constelaciones de satélites (como GPS, GLONASS, Galileo) que permiten determinar la posición geoespacial precisa de un objeto en cualquier parte del planeta.

Hitos (Puntos de referencia). Puntos de referencia externos al observador, como edificios singulares, señales o monumentos, que sirven para la orientación en la ciudad (ej. Torre Colpatria) .

LiDAR (Light Detection and Ranging). Tecnología de teledetección que utiliza pulsos láser para medir distancias con alta precisión, permitiendo generar nubes de puntos densas y penetrar parcialmente la vegetación para obtener datos del terreno.

Nodos. Puntos estratégicos de una ciudad a los que el observador puede ingresar; son focos intensivos de actividad, cruces o confluencias, como las estaciones de metro o plazas principales .

No lugares. Concepto antropológico que refiere a espacios de transitoriedad y anonimato que no tienen la importancia relacional o histórica de los lugares tradicionales, pero que son vitales para el funcionamiento de la sociedad moderna (ej. autopistas, aeropuertos).

Nube de puntos. Conjunto de vértices en un sistema de coordenadas tridimensional, generado habitualmente por escáneres láser (LiDAR) o fotogrametría, que representa la superficie externa de un objeto o terreno.

Ortofoto. Producto cartográfico consistente en una fotografía aérea corregida geoméricamente para eliminar las distorsiones de la perspectiva y el relieve, de modo que posee la validez métrica de un plano.

PLMB. Siglas correspondientes a la Primera Línea del Metro de Bogotá.

Ruido. Sonido no deseado o aperiódico. Físicamente, se caracteriza por ondas cuyas perturbaciones no se producen a intervalos regulares y cuya amplitud varía continuamente.

Ruido aéreo. Perturbación sonora que se propaga a través del aire antes de llegar al receptor o impactar contra un elemento constructivo.

Ruido de impacto. Sonido generado cuando una fuente impacta directamente sobre una superficie estructural (como un piso o muro), transmitiendo la vibración a través de los elementos sólidos.

Sendas. Conductos o canales de circulación que siguen las personas habitualmente, ocasional o potencialmente, como calles, senderos, líneas de tránsito o vías férreas .

Servidumbre. Gravamen impuesto sobre un predio (sirviente) en utilidad de otro predio de distinto dueño (dominante) o para uso público. En el contexto de obras civiles, implica restricciones de uso o paso en terrenos ajenos a la obra principal.

Vacío urbano. Áreas de la ciudad carentes de contenido físico o actividad definida, a las que el planeamiento no ha dado una viabilidad de uso inmediato, a menudo remanentes del crecimiento periférico o grandes infraestructuras.

Lista de Referencia o Bibliografía

Ardila, L. V. (2022). *Contaminación ambiental provocada por la construcción del metro en la ciudad de Bogotá*. Universidad Militar Nueva Granada. <http://hdl.handle.net/10654/44624>

Berruete Martínez, F. J. (2017). *Los vacíos urbanos: Una nueva definición*. Trea.

Consortio Metro Bogotá SYSTRA e INGETEC ingenieros consultores. (2018). *Estudio de impacto ambiental y social del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá: Capítulo 7*.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/253341520658440833/text/SFG4128-V11-REVISED-EA-SPANISH-P165300-PUBLIC-Disclosed-6-18-2018.txt>

Giani. (2003). *Acústica arquitectónica*. [Editorial].

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). Ingeniería civil y arquitectura. Concreto fresco. Toma de muestras (NTC 454).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2001). Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 5 (NTC 4945).

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006, 7 de abril). Resolución 627 de 2006. *Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental*. Diario Oficial No. 46.239.

Rodríguez, F., & De la Puente, J. (2006). *Guía acústica de la construcción*. Cie Inversiones Editoriales.

Rodríguez, M. (2014). *Espacios, sonidos y arquitectura*. [planeta].

Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.). *Ruido*. Recuperado de <https://www.ambientebogota.gov.co/ruido>

Secretaría Distrital de Ambiente. (s.f.). *Mapa estratégico de ruido* [Mapa interactivo]. Visor Geográfico Ambiental. <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

Augé, M. (2000). *Los "no lugares": Espacios del anonimato. Una antropología de la sobremodernidad.* Gedisa.

Empresa Metro de Bogotá. (2024, 21 de marzo). *Respuesta a petición PQRSD-E24-00248*
[Comunicación oficial]. Archivo interno de la Empresa Metro de Bogotá S.A.

Giani, A. (2003). *Acústica arquitectónica.* Nobuko.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). *Construcción. Organización de la información de las obras de construcción. Parte 2: Marco para la clasificación (NTC-ISO 12006-2).*

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2022). *Organización y digitalización de la información en edificaciones y obras de ingeniería civil, incluyendo el BIM. Gestión de la información usando el BIM. Parte 1: Conceptos y principios (NTC-ISO 19650-1).*

Jiménez Rojas, J. R., & Jaramillo Contreras, J. (2020). *Efecto implicación cálculo servidumbre en terreno urbano de acuerdo a su afectación en Valledupar* [Tesis de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Udistrital.

<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28128>

Pacheco, J., Franco, J. F., & Behrentz, E. (2009). Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. *Revista de Ingeniería*, (30), 72–80.

<https://doi.org/10.16924/revinge.30.9>

Rodríguez, F. E. (2013). *Espacio, sonido y arquitectura.* Designio.