



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1704



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM APLICADA A LAS CONDICIONES DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO



MICHAEL AFRANIO DÍAZ RICARDO

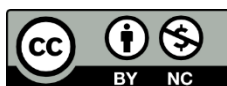
INGENIERO CIVIL

Código: 2271311

CARLOS ANDRÉS COGOLLO DIAZ

INGENIERO CIVIL

Cód. 2272650



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL

12 DE JUNIO DE 2021

BOGOTÁ D.C.



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM APLICADA A LAS CONDICIONES DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO



Por:

**MICHAEL AFRANIO DÍAZ RICARDO
CARLOS ANDRÉS COGOLLO DIAZ**

Documento final presentado como opción de grado para optar al título de Magister
en Infraestructura Vial

Aprobado por

Ing. Msc. Wilson Ernesto Vargas Vargas

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL
12 DE JUNIO DE 2021
BOGOTÁ D.C.**



Nota de Aceptación

Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C, 30 de julio de 2021



DEDICATORIA

A mi madre Sandra Lucia y mi padre Dagoberto quienes con su amor y esfuerzo he logrado llegar hasta aquí

Finalmente quiero dedicar este logro a todos mis familiares y amigos por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

Michael Afranio Diaz Ricardo

La presente investigación la dedico a mi padre que, en todos sus años de vida, demostró todo el amor que tiene por las vías y las carreteras que ayudó a construir, mi padre me inspiró a estudiar esta carrera y gracias a su esfuerzo me encuentro lleno de felicidad por esta linda profesión.

También se la dedico a mi madre que con su paciencia, dedicación y esfuerzo supo guiarme para no limitarme a un cartón y siempre buscar el paso siguiente en mi carrera profesional y vida personal.

Carlos Andres Cogollo Diaz



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Agradezco a mi familia, sin ellos no estaría en el lugar que estoy y no sería quien soy ahora.

De igual manera agradezco a la Universidad Santo Tomás y al Ing. Wilson Ernesto Vargas, por compartir sus conocimientos y experiencias.

Para finalizar quiero agradecer a mis amigos y profesores de la Maestría que siempre han estado ahí cuando nos hemos necesitado.

Michael Afranio Diaz Ricardo

Agradezco a toda mi familia que me apoyó en los diferentes momentos y etapas de mi ciclo de estudios, en especial a mi madre Virgelina Diaz Jimenez, quien me apoyó incondicional e ilimitadamente y a mi pareja, Lina Marcela Quijano quien me brindó su fortaleza para poder terminar este gran proyecto.

Por último, pero no menos importante al Ing. Wilson Ernesto Vargas Vargas, quién nos guió en este laborioso proceso de investigación como director, compartiendo sus experiencias y conocimientos para culminar satisfactoriamente este paso por la Universidad Santo Tomás.

Carlos Andres Cogollo Diaz



RESUMEN

Este trabajo de investigación desarrolla una guía metodológica para la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial para Colombia, realizando una revisión del desarrollo de la metodología en otros países, y su evolución a lo largo de los últimos años.

Se revisaron los planes de ejecución BIM de diferentes países para recolectar los procesos, actividades y mejores prácticas que pudieran aplicarse para proyectos de infraestructura vial, se examinó el contexto nacional de Colombia en cuanto al progreso de la implementación de la metodología BIM además de revisar las reglamentaciones emergentes para los nuevos procesos de construcción digital.

Se realizó una encuesta online de conveniencia, para determinar el uso de los diferentes softwares para el diseño y proceso de maduración de los proyectos viales, efectuando un espectro de las posibles herramientas que pudieran o no, acoplarse a la metodología BIM.

De acuerdo a lo anterior, se encontraron diversas discrepancias entre la metodología BIM para edificaciones y las necesidades de los proyectos viales, por lo cual se optó por desarrollar la metodología y acoplarla a los proyectos carreteros y al contexto de Colombia.

Que de acuerdo a los programas más utilizados permita realizar todas las funcionalidades de un proyecto BIM regular.

La guía metodológica RIM se acoplo al contexto nacional, buscando todas las ventajas posibles con las herramientas disponibles acercando la posibilidad de su implementación en proyectos viales.

Palabras Clave: BIM, RIM, infraestructura vial, trabajo colaborativo, centralización de la información, CDE, LOD, LOI, IFC



ABSTRACT

This research work develops a methodological guide for the implementation of the BIM methodology in road infrastructure projects for Colombia, reviewing the development of the methodology in other countries, and its evolution over the last years.

BIM execution plans from different countries were reviewed to collect processes, activities and best practices that could be applied for road Infrastructure

An online convenience survey was conducted to determine the use of different software for the design and maturation process of road projects, making a spectrum of possible tools that could or could not be coupled to the BIM methodology.

According to the above, several discrepancies were found between the traditional BIM methodology and the needs of road projects, so it was decided to develop a new methodology that fits the context of Colombia and that according to the most used programs allows to perform all the functionalities of a regular BIM project.

The RIM methodological guide was adapted to the national context, looking for all the possible advantages with the available tools, bringing closer the possibility of its implementation in road projects.

Key words: BIM, RIM, road infrastructure, collaborative work, centralization of information, CDE, LOD, LOI, IFC.



	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	18
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. ESTADO DEL ARTE	24
4.1 ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL.....	24
4.1.1 INICIATIVAS PÚBLICO PRIVADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN BIM.....	24
4.1.2 TRABAJOS DE GRADO	29
4.1.3 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.....	31
4.2 ESTADO NACIONAL.....	34
5. MARCO TEÓRICO.....	41
5.1 CONSTRUCCIÓN DIGITAL	41
5.2 PILARES DE LA CONSTRUCCIÓN DIGITAL.....	42
5.3 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DIGITAL	42
5.4 QUE ES BIM	44
5.5 BENEFICIOS RIM EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL.....	44
5.6 MARCO LEGAL	47
6. METODOLOGÍA.....	50
6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	50
6.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	50
6.3 FASES DE EJECUCIÓN.....	51



7. FASE 1 – PRINCIPALES FUNCIONES DE BIM PARA PROYECTOS

VIALES54

- 7.1 FUNCIONALIDAD DE LA METODOLOGÍA BIM PARA PROYECTOS VIALES .54
- 7.2 MEJORAS ADMINISTRATIVAS ORGANIZACIONALES58
- 7.3 REQUISITOS TÉCNICOS GENERALES PARA RIM59
 - 7.1.1 SOFTWARE59

8. FASE 2 – MUESTREO INTENCIONAL - PROGRAMAS DE INGENIERÍA

PARA VÍAS MÁS UTILIZADOS66

- 8.1 DESCRIPCIÓN DE LA ENCUESTA66
- 8.2 RESULTADOS ENCUESTA71
- 8.3 ESPECIALIDAD DE ENCUESTADOS.....73
- 8.4 DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS74
- 8.5 DISEÑO DE ESTRUCTURAS75
- 8.6 ELABORACIÓN DE COSTOS, PRESUPUESTOS Y PROGRAMACIÓN DE OBRA 76
- 8.7 MODELACIÓN DE TRANSITO EN VÍAS78
- 8.8 DISEÑO HIDRAULICO79
- 8.9 DISEÑO ARQUITECTONICO.....80
- 8.10 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA.....81

9. FASE 3 – DESARROLLO DE LA GUÍA METODOLÓGICA RIM PARA LA IMPLEMENTACIÓN DENTRO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN

COLOMBIA83

- 9.1 METODOLOGÍA BIM – LIMITACIONES PARA SU DESARROLLO DENTRO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL83
- 9.2 FLUJO DE DESARROLLO DE PROYECTOS RIM.....84
- 9.3 MODELADO RIM89
 - 9.3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO RIM89
 - 9.3.2 REQUERIMIENTOS DEL MODELADO RIM89
 - 9.3.3 FICHA DESCRIPTIVA DEL MODELO90
 - 9.3.4 GEORREFERENCIACIÓN.....90

9.3.5	INICIO DE LA MODELACIÓN	91
9.3.6	NIVEL DE DESARROLLO DEL MODELO	91
9.2.7	NIVEL DE INFORMACIÓN	94
9.2.8	USOS DEL MODELO BIM	100
9.4	ENTORNO DE TRABAJO COLABORATIVO	102
9.4.1	BASE DE DATOS	102
9.4.2	COMMON DATA ENVIRONMENT (CDE)	105
9.5	TRABAJO COLABORATIVO	108
9.5.1	FLUJO DE INFORMACIÓN	109
9.5.2	ROLES BIM	112
9.5.3	MAPA DE PROCESOS Y SECUENCIA DE TRABAJO COLABORATIVO	114
9.5.4	PLAN DE EJECUCIÓN BIM	116
9.5.5	ROLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN RIM	123
9.6	CICLO DE VIDA DEL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL RIM (CVPIV)	124
9.6.1	ETAPA 1 PREFACTIBILIDAD	127
9.6.1.1	Identificación del proyecto	127
9.6.1.2	Formulación del proyecto	128
9.6.1.3	Alcance del proyecto RIM	128
9.6.1.4	Definición de roles RIM	133
9.6.2	ETAPA 2 FACTIBILIDAD	138
9.6.3	ETAPA 3 DISEÑO DEFINITIVO	141
9.6.4	ETAPA 4 CONSTRUCCIÓN	151
9.6.5	ETAPA 5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	153
10.	CONCLUSIONES	155
11.	RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	157
12.	BIBLIOGRAFÍA	158

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones BIM desarrolladas	26
Tabla 2. Encuesta Perfilamiento de Encuestados.....	67
Tabla 3 Encuesta perfilamiento de programas más utilizados	68
Tabla 4. Cantidad de encuestas por grados profesionales	71
Tabla 5. Promedio de experiencia vs niveles profesionales	72
Tabla 6. Características Proyección CTM12.....	91
Tabla 7. Nivel De Información definido en el Planbim de Chile, basada en G202-2013 AIA y en el nivel de desarrollo de BIM FORUM USA.....	95
Tabla 8. Matriz de objetos y elementos BIM. Tipos definidos por Planbim de Chile	96
Tabla 9. SET DE PROPIEDADES	98
Tabla 10 Carpetas Ejemplo para el desarrollo RIM	132



LISTA DE GRÁFICAS

Ilustración 1. Estudio de caracterización del sector de la infraestructura de transporte	34
Ilustración 2. Variación anual de los indicadores de coyuntura del sector de la construcción.....	35
Ilustración 3. Curva de MacLeamy – Construcción CAD Vs Construcción BIM	45
Ilustración 4. Pasos generales a seguir en el proceso de consecución y construcción de una APP	49
Ilustración 5. Niveles de LOD.....	51
Ilustración 6. Mapa de la metodología	53
Ilustración 7. Adaptación de Curva de Mac Leamy Desarrollo de Proyectos viales en Colombia.....	55
Ilustración 8. Estructura básica para base de datos	61
Ilustración 9. Porcentaje de participación por especialidad	73
Ilustración 10 Programas más utilizados para Diseño Geométrico en Vías.....	74
Ilustración 11 Programas más utilizados para Diseño Estructural en Vías	75
Ilustración 12. Programas más utilizados para presupuestos y programaciones de obra vial	77
Ilustración 13. Programas más utilizados para Modelación de Transito en Vías ...	78
Ilustración 14. Programas más utilizados para Diseño Hidráulico en Vías	80



Ilustración 15. Programas más utilizados para Diseño Arquitectónico en Vías	81
Ilustración 16 Programas más utilizados para Sistemas de Información Geográfica en Vías.....	82
Ilustración 17. Ciclo de vida de proyectos viales.....	85
Ilustración 18. Esquema básico de trabajo RIM.....	87
Ilustración 19. Ejemplo ilustrativo niveles LOD	92
Ilustración 20. CDE Para proyectos viales	105
Ilustración 21. Evolución de un Proyecto de Infraestructura Vial	125
Ilustración 22. Ciclo de maduración de un proyecto de infraestructura de transporte	126
Ilustración 23. Curva de proyectos RIM	127
Ilustración 24. Capacidad de almacenamiento Drive	129
Ilustración 25. Usuarios RIMdrive	129
Ilustración 26. Ejemplo tabla de retención documental.....	131
Ilustración 27. Carpeta principal de proyecto	131



GLOSARIO

Building Information Modeling (BIM): Modelado de información de construcción, trata de la metodología de trabajo colaborativa para gestar un proyecto de construcción.

Road Information Modeling (RIM): Modelado de información para carreteras, trata de la guía metodológica para el trabajo colaborativo para la gestión de los proyectos viales.

Infraestructura vial: La Infraestructura vial es todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro.

Trabajo colaborativo: Modalidad de trabajo en el que un grupo de personas colaboran para lograr una meta en común, gestando conocimientos, sin importar su ubicación.

Centralización de la información: Agrupación de la información en un solo banco de datos con acceso a todos los interesados para revisar, editar, comunicar y generar nueva información.

Common Data Enviroment (CDE): Entorno de datos colaborativo, es una herramienta que permite a los diferentes agentes implicados en un proyecto trabajar de forma interconectada en la nube.

Level of development (LOD): determina el Nivel de Desarrollo que tiene un modelo BIM.

Level of information (LOI): es la cantidad de información no modelada que tiene como único objetivo detallar los modelos.

IFC: Formato de datos que tiene como finalidad permitir el intercambio de un modelo informativo sin la pérdida o la distorsión de datos o informaciones.



INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los países en vía de desarrollo, es fundamental realizar una adecuada planeación, ejecución y control de todos sus proyectos de infraestructura vial. Esto garantizará la conectividad terrestre en todo su territorio, permitiéndole así convertirse en un país con mayores posibilidades de exportar e importar sus mercancías, haciendo de las redes viales un motor de desarrollo económico y social para todas sus regiones. Es así, como se desarrollaron nuevas tecnologías como la metodología BIM, en esta se focalizan todas las áreas de interés para el desarrollo de un proyecto carretero, permitiendo diseñar, evaluar, analizar, ejecutar, controlar y auditar cualquier proyecto constructivo. Y todo lo dicho encaja perfectamente con las características del territorio colombiano, con la cruda realidad de que, en muchos de los proyectos en desarrollo, se presentan problemas de sobrecostos durante su ejecución y atrasos en los tiempos de entrega, como resultado de la mala planificación, y es por esto que muchos países desarrollados como los europeos han adoptado la metodología BIM.

A causa de este panorama este trabajo propone como objetivo general elaborar una guía metodológica para la implementación de la metodología BIM aplicada a las condiciones de proyectos de infraestructura vial en el territorio colombiano. Partiendo de objetivos específicos como: elaborar el mapa de procesos y secuencia de trabajo colaborativo que conforma la metodología BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, describir las herramientas BIM que intervienen en el desarrollo de cada una de las tareas del proceso de proyectos de infraestructura vial, definir el sistema de gestión de documentación y nomenclatura para garantizar la estructuración del proceso y finalmente implementar una plataforma de base de datos y trabajo colaborativo e interoperabilidad sinérgica de las diferentes especialidades que componen la infraestructura vial. Y así establecer una relación



entre el diseñador, constructor y propietario que en este caso sería los proyectos del estado.

Habría que decir también, que el estado de investigación actual en el que se encuentra el desarrollo de la metodología BIM es muy avanzado para proyectos de edificaciones habitacionales, no obstante, a lo que se refiere a la aplicación de esta tecnología en la infraestructura vial, no está tan a la par, siendo que las herramientas BIM están al mismo nivel, pero carece de un formato o esquema de intercambio neutral estándar para mejorar la interoperabilidad y a esto se le suma que la mayoría de las empresas constructoras carecen de conciencia sobre la tecnología BIM (Al-Ashmori et al., 2020). Y es por esto, por lo que han surgido alternativas específicas en el tema, y se ha desarrollado mayormente en países europeos motivados de forma indirecta o indirecta por la Directiva 2014/24/UE con referencia del artículo 22, a las herramientas de modelado electrónico y de información de las construcciones o similares, para licitaciones de obras públicas.

Por otra parte, en relación a la metodología empleada, se basa en cuatro ejes de trabajo; en el cual el primero se desarrolla un mapa de procesos donde se identifican normativas, características de las herramientas tecnológicas y la identificación de los profesionales que interactúan en el proceso; la segunda es la selección de las herramientas con criterios comerciales, complejidad, compatibilidad y costos, la tercer línea es la definición de un código de documentación común y finalmente la conformación de una base de datos que sincronice todo el proceso.

Finalmente, el contenido de este trabajo consta del planteamiento del problema, justificación, objetivos generales y específicos, estado del arte desde el punto de vista internacional y nacional, donde se analicen el contexto donde se encuentra el desarrollo de metodología BIM, metodología del trabajo en la que se detalla los trabajos a realizar para la consecución de los objetivos planteados, impacto, resultados y finalmente recomendaciones y futuras investigaciones.



1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de guía metodológica para la implementación de la metodología BIM aplicada a las condiciones de proyectos de infraestructura vial en el territorio colombiano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar el mapa de procesos y secuencia de trabajo colaborativo que conforma la metodología BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.

Describir las herramientas BIM que intervienen en el desarrollo de cada una de las tareas del proceso de proyectos de infraestructura vial.

Definir el alcance e interoperabilidad de la modelación BIM.

Parametrizar el entorno de colaboración o plataforma de base de datos estructurada, para la gestión de las diferentes especialidades y modelos de un proyecto de infraestructura vial.

Implementación de la metodología BIM dentro del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura vial en Colombia



2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La infraestructura vial en todos sus niveles se transforma, atravesando grandes cambios y paradigmas, ya no se basa en un trabajo manual, individual y sin criterios de compatibilidad por parte de los profesionales, por el contrario, en la actualidad, se orienta a un modelo colaborativo y competitivo en cuanto calidad y tiempos de entrega, permitiendo eliminar errores en el proceso y encontrando nuevas alternativas de diseño y construcción, llevando la ingeniería a nuevo nivel de calidad y complejidad.

“En Colombia existe un rezago general en la infraestructura de las vías tanto carreteras como férreas, en los puertos y en los aeropuertos.” (FEDESARROLLO, 2014)

Una condición necesaria para lograr este desarrollo, es que la metodología que sea utilizada genere resultados concretos y efectivos. Por ejemplo, se considera que la tecnología BIM es la transformación de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano (2D) como única herramienta, en cambio esta nueva tecnología incorpora información geométrica (3D), rendimientos y cronogramas de tiempo (4D), análisis de costos (5D), riesgos y mitigación ambiental (6D) y por último la operación y mantenimiento (7D), todo lo anterior en tiempo real con actualizaciones constantes e interactivas que permiten la comunicación efectiva de todos los implicados.

Por otra parte, el uso de BIM se extiende más que a solo la etapa de diseño, incluyendo la ejecución del proyecto y ampliándose a lo largo del ciclo de vida. (BuildingSMART, 2012).



Frente a todo esto, la tendencia mundial en el desarrollo de nuevas infraestructuras es dar mayor énfasis a la implementación de esta nueva forma de trabajo, por considerarse parte fundamental para el desarrollo de los megaproyectos, y es así como muchos países especialmente europeos han impulsado políticas y programas para la implementación de la metodología BIM, como es el caso de España por medio de su ministerio de fomento se creó es.BIM, organismo que tiene como objetivo implementar BIM en el gremio de la construcción e introducirlo en los proyectos de interés público.

En este contexto, se percibe un leve crecimiento en empresas privadas colombianas dedicadas a la construcción de proyectos habitacionales que están utilizando la metodología BIM como apoyo en cada una de sus fases de operación y construcción, obteniendo resultados muy favorables debido a la agilidad, desarrollo y facilidad de optimización en cuanto a la implementación que tienen gracias a esta nueva metodología de trabajo, sin embargo el panorama en proyectos viales es muy diferente, puesto que no se han desarrollado metodologías aplicables a su sector, presentando problemas de sobrecostos durante la ejecución y atrasos en los tiempos de entrega.

Un claro ejemplo ha sido la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), que para el año 2018 que tuvo a cargo 40 proyectos, 11 de ellos presentaron atrasos. Entre estos se encontraban proyectos del programa de 4G y de obras de las primeras tres generaciones de vías. Y el común denominador en la mayoría casos fue por la falta de planeación temprana y efectiva.

A pesar de la importancia que dichas herramientas tecnológicas representan actualmente, se observa una escasa aplicación de las mismas, producto del poco conocimiento que se tiene de sus virtudes, la falta de inversión por parte de las entidades públicas y privadas, además de la falta de una guía de procesos que articule todas las herramientas BIM existentes en un único formato, neutral según



el estudio realizado por (Al-Ashmori et al., 2020). Esto explicaría las razones, por las cuales se siguen encontrando proyectos con tantos problemas relacionados con su planeación, en los cuales también en algunos casos se tiene influencia por actos de corrupción política. Ante esta situación el país expresa preocupación, puesto que, al pasar los años, se ha normalizado la falla general en los proyectos de infraestructura vial.

Por lo antes expuesto, en este contexto, es necesario plantearse la realización de una guía metodológica para la implementación de la metodología BIM, adaptada a las condiciones de la infraestructura vial del país, con el propósito de repensar una nueva forma de trabajo, donde los autores y protagonistas no solo trabajen de forma conjunta y coordinada, sino que también, las instituciones públicas impulsen la implementación de estos nuevos procesos pues son quienes tienen a cargo estos proyectos, de esta manera se pretende integrar lo relacionado al gremio de la construcción privada y la institucionalidad pública como un único motor de progreso. En concordancia con los nuevos enfoques, tendencias y objetivos tecnológicos, el cual tiene el reto de mejorar la cara de la construcción en este país.

¿Qué características y factores se deben tener en cuenta para la implementación de metodología BIM aplicada a las condiciones de proyectos de infraestructura vial en el territorio colombiano?



3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad colombiana, se han desarrollado diversos proyectos de infraestructura vial, bajo diferentes esquemas de contratación y ejecución, no obstante, cada empresa que quiera verse involucrada. Se encuentra en el desarrollo constante de nuevos procesos y formas de acoplamiento de acuerdo con las necesidades del sector. Sin embargo, esto último deja varias brechas y espacios vacíos donde las responsabilidades de los involucrados se ven comprometidas.

Asimismo, la infraestructura vial colombiana se encuentra rezagada en cuanto a su extensión y niveles de servicio, en muchas ocasiones con errores fatales que congelan o cancelan el correcto desarrollo de los proyectos, esto se debe a la falta de planificación de los mismos y la omisión de la definición de detalles en la etapa de desarrollo.

El tiempo en el desarrollo de un proyecto vial es fundamental para su realización, economía, calidad y llegada a buen fin. Por tanto, es necesario desarrollar nuevas alternativas que permitan proyectar y ejecutar todas las actividades requeridas. Uno de los obstáculos más recurrentes son los tiempos previstos para la planificación pre-construcción, construcción de los proyectos operación y mantenimientos. Ya que las comunicaciones entre los diseñadores, constructores y operadores son bastante precarias a pesar de las capacidades informáticas en la actualidad.

Todo lo anterior hace necesario establecer una guía metodológica que ayude a desarrollar y permita evolucionar todas las etapas y fases de los proyectos viales en tiempo real. Esto significa que tanto constructores como diseñadores y todos los interesados podrán revisar, analizar, desarrollar y optimizar sin interrupciones por comunicaciones pérdidas o falta de contacto entre los mismos. Esto también ayuda a generar una red transparente de información donde los cambios y errores podrán ser resueltos de manera más efectiva, procurando que el producto final se encuentre



perfeccionado a un mayor nivel y no sean transferidos problemas inherentes del diseño a los ejecutores de los mismos.

También se reconoce que en la actualidad existen muchos sesgos entre la interdisciplinariedad requerida para el correcto desarrollo de un proyecto de infraestructura vial. Por tanto, es fundamental que todos los profesionales, hablen en un mismo idioma y se reúna toda la información en un solo lugar, dónde pueda ser visible para todos los interesados, dependiendo de su nivel jerárquico, pero sin la necesidad de intermediarios. Esto aumentará en gran medida la velocidad del desarrollo del proyecto, donde se evidencie, mediante una trazabilidad visible la gestión de todas las partes.

Para el correcto desarrollo de esta investigación se utilizará el BIM Execution Plan el cual es una herramienta desarrollada por la Universidad Estatal de Pensilvania, el cual consta de un documento donde se expondrán las bases, reglas, guías y jerarquías para la correcta ejecución de un proyecto BIM, esto ayudará a todos los interesados en la realización de los proyectos de infraestructura vial, no obstante se adicionarán los profesionales que no se encuentran directamente relacionados con el diseño y construcción de los mismos, de esta manera se busca mitigar los efectos futuros que los implicados, puedan tener respecto al plan de ejecución.

Haciendo partícipes a las áreas ambientales, sociales, financieras, económicas y gerenciales, se busca una total participación en la toma de decisiones, cambios y correcciones que puedan surgir a lo largo del desarrollo BIM. También se beneficiará la correcta planificación y programación del proyecto, atenuando las posibilidades de riesgo y aumentando el rango de acción de todos los participantes.

Para garantizar el éxito de la metodología BIM, es necesario establecer un procedimiento para la gestión documental que permita centralizar la información de todos los participantes, además de permitir una constante iteración entre los interesados. Las necesidades establecidas para el correcto funcionamiento y



coordinación de un proyecto BIM en infraestructura vial, aunadas a su implementación en el marco colombiano, no han sido esclarecidas. Por tanto, se tomarán como referencia la metodología BIM para proyectos de construcción vertical, como son habitacionales y funcionales como centros comerciales, bodegas, centros de abastecimiento y oficinas.



4. ESTADO DEL ARTE

4.1 ESTADO DEL ARTE INTERNACIONAL

Para iniciar el estado del arte desde el punto de vista internacional y comenzar a describir los proyectos de investigación relacionados con la infraestructura vial, vale la pena mencionar, que muchos países como los Estados Unidos están muy avanzados en la implementación, pero aún más los países de la Unión Europea que por medio de la Directiva 2014/24/UE con referencia del artículo 22 a las herramientas de modelado electrónico y de información de las construcciones o similares (PARLAMENTO EUROPEO, 2014), abren la posibilidad de que los estados miembros implementen el uso de la metodología BIM en sus procesos de contratación de obras y servicios públicos, por tal razón países como España encabezado por su ministerio de fomento creó la Comisión es.BIM en agosto de 2015, con el objetivo de implementar BIM de manera progresiva como requisito obligatorio para todas las licitaciones públicas de proyectos constructivos como se puede encontrar en el portal (Technology Zigurat, 2018)

4.1.1 INICIATIVAS PÚBLICO PRIVADAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN BIM

Para saber más sobre el trabajo de es.Bim, es importante saber que, ellos se definen en su portal web oficial como un grupo abierto a todos los agentes implicados (administraciones, ingenierías, constructoras, universidades, profesionales...) cuya misión principal es la implantación de BIM en España (es.BIM, 2014). En este proceso el grupo se apoyó en su comité técnico, ha desarrollado dos tipos de guías donde la primera describe la elaboración del plan de ejecución BIM y la segunda se centra en el uso de la metodología en edificaciones.



Cabe resaltar que estas guías desarrollan la metodología de manera general a todos los proyectos de ingeniería, dejando a criterio de los actores vía libre de implementar la herramienta a sus proyectos en particular. Con referente a los resultados de proyectos de infraestructura vial obtenido bajo sus recomendaciones, resalta un caso de éxito como lo es el metro elevado de Doha Qatar, en el cual la metodología BIM fue uno de los requisitos para la contratación en su etapa de pre-construcción, siendo crucial para la planeación, y ejecución del proyecto.

Hasta ahora el proyecto más afín a la infraestructura vial que se ha articulado con es.Bim y financiado por (Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial, (CDTI), 2014) y desarrollado por las empresas SACYR, TYPESA, APLITOP, APOGEA con la colaboración de la universidad politécnica de valencia UPV, es el denominado ROADBIM, tiene como objetivo un desarrollo eficaz en proyectos de infraestructura vial en su vida útil utilizando la tecnología BIM, además se traza reto social en el ámbito del transporte sostenible e integrado (ROADBIM, 2016).

Para el desarrollo de estos objetivos se plantea cuatro pilares, el primero es implementar la metodología como eje principal como colaboración entre partes de la cadena, el segundo es el desarrollo de un formato estándar de intercambio, el tercero es el desarrollo de aplicaciones BIM para carreteras como por ejemplo: editor de normativa, visor de proyectos, validador de proyectos, análisis sv, cálculo de indicadores ACV y demás herramientas complementarias y finalmente la protocolización de informe final de resultados certificado bajo un sello de calidad.

Los resultados hasta ahora obtenidos de este proceso han sido el desarrollo de un formato estándar denominado IFC ROAD, compuesto por un modelo conceptual, desarrollo de aplicaciones BIM como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 1. Aplicaciones BIM desarrolladas

APLICACIÓN	Tipo de licencia
Editor de normativa de diseño geométrico	Comercial
Editor de normativa de firmes	Comercial
Visor de proyectos BIM de carreteras	Libre
Validador de proyectos BIM de carreteras	Libre
Aplicación de análisis de seguridad vial	Comercial
Aplicación de exportación automática para simulador de conducción	Comercial
Aplicación para cálculo de indicadores para el Análisis del Ciclo de Vida y Coste del Ciclo de Vida	Comercial

Fuente: (ROADBIM, 2016)

Para futuros trabajos se plantea verificar la propuesta realizada sobre estructura ‘espacial’ de un proyecto de carreteras, perfeccionar la codificación de los elementos ‘físicos’ de la carretera, efectuar propuestas de características predefinidas property sets en función de las categorías anteriores y de los usos BIM y por último la creación de ficheros IFC que validen todo lo construido.



Lo interesante de este proyecto es su editor de normativas, que no solo pretende incorporar normas europeas, sino que también normas norteamericanas y sudamericanas, lo que facilita su implementación a las condiciones de cada país.

Otra iniciativa muy importante es la asociación sin ánimo de lucro BuildingSMART, cuyo objetivo es incentivar la optimización de los procesos de la construcción a través del uso de herramientas alineadas a la interoperabilidad sobre la metodología BIM para alcanzar nuevos niveles en reducción de costos, tiempo y aumento de la calidad en los proyectos (BuildingSMART, 2012) y unas de sus actividades aparte de fomentar la metodología es desarrollar guías y programas de formación que faciliten la adaptación a la metodología BIM a la industria de la construcción. Y unos de sus resultados ha sido la Guía BIM para propietarios y gestores, está dirigida a “propietarios” y a “gestores” de activos inmobiliarios, industriales e infraestructuras para que entiendan qué es BIM y los beneficios que pueden obtener. Así mismo ha desarrollado otros estudios como el Macro Estudio Adopción BIM en España, este ejercicio intenta asistir a las diferentes Administraciones Públicas para definir estrategias de difusión e implantación de la metodología BIM.

Como en el caso de es.BIM, las guías desarrolladas por BuildingSMART son a manera general para todos los proyectos de ingeniería, dejando a criterio de las empresas constructoras su implementación. Con referente a los resultados de proyectos de infraestructura vial fue el Länsimetro - Diseño de instalación HVAC en estaciones de metro de Helsinki capital de Finlandia, el proyecto consistía en dos fases. La primera fase comprende ocho nuevas estaciones y cinco estaciones adicionales serán construidas en la segunda fase. El metro se extenderá sobre 21 kilómetros subterráneos en dos túneles paralelos, la metodología BIM en este caso no fue uno de los requisitos para la contratación, pero si, para su etapa de planeación y ejecución del proyecto donde fue de vital importancia.



Todavía cabe mencionar que estas guías fueron desarrolladas bajo las condiciones del territorio europeo de tal manera que al momento analizarlas y de revisar su aplicabilidad al territorio colombiano, difieren en muchos aspectos, como, por ejemplo; algunas aplicaciones, alcances como la topografía, los climas y el desarrollo tecnológico que atraviesa el país. Estas metodologías que han sido desarrolladas por estas dos grandes iniciativas son de total planificación y aprovechamiento de las ventajas tecnológicas que ya poseen, haciendo necesaria una homologación para la implementación de la metodología BIM a nuestro país.



4.1.2 TRABAJOS DE GRADO

También se revisó a lo referente de la implantación de la metodología BIM a la infraestructura vial en el ámbito académico, para este caso se encontró información sobre aplicaciones a casos de la vida real, tal como se expone en los siguientes trabajos de fin de máster:

En este caso se analizaron tres proyectos, el primero se denomina “aplicación de la metodología BIM al proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial - modelo BIM 4d planificación (D. Juan Bautista Bermejo García, 2018), el segundo se titula “Aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el diseño de una glorieta en la carretera CV-310 PK 15+750 en la provincia de Valencia” (Paz García, 2019), estos dos proyectos desarrollados tienen objetivos similares y consisten en la aplicación de la metodología en un proyecto carretable y el tercero es la aplicación BIM a proyectos de metros subterráneos en la ingeniería de transporte, o como su título en inglés “BIM Technology in Underground Transportation Engineering” (Tong Geng, 2019).

Estos dos primeros trabajos tienen en común que son un diseño de una parte de una carretera convencional y su principal objetivo en común es el modelo 4D (3 dimensiones geométricas y entendiendo como cuarta dimensión el tiempo) utilizando BIM.

La Metodología utilizada para estos dos trabajos, consistió en la realización de un modelo digital en tres dimensiones utilizando herramientas BIM como lo es el software civil 3D, que se utilizó para resolver lo concerniente a diseño métrico y demás factores de seguridad vial que para ambos casos se requería. Por otro lado la cuarta dimensión se hizo a través del software naves Word partiendo del diseño generado por el civil 3D, donde se calculan las cantidades y además modelo digital se incluye al modelo gráfico de planificación permitiendo apreciar la evolución del trabajo en una línea de tiempo.



Los resultados encontrados para los dos casos fue un diseño consistente desde el punto de vista geométrico, Hidráulico, programación de obra, planos y modelo tridimensional, destacándose la calidad, versatilidad de consulta de datos y edición.

Las propuestas de futuras líneas de trabajo más interesantes de estos dos proyectos consisten, en la creación de una codificación universal de los elementos que componen la infraestructura vial, para que el flujo de trabajo interdisciplinar se desarrolle eficientemente.

La otra línea y que se considera relevante para este trabajo, es la adaptación de la metodología BIM a la infraestructura de transporte.

El tercer trabajo es hecho por Tong Geng de Universidad Metropolitana de Ciencias Aplicadas de Finlandia situada en la ciudad de Helsinki y tiene como objetivo analizar la importancia y los métodos del uso BIM en la construcción de transporte subterráneo. El análisis teórico cubrió el proceso de construcción, diseño, construcción y fase de mantenimiento.

Además, esta tesis también estudió la detección de conflictos de tuberías, que es común en la fase de diseño de transporte subterráneo. También se analizó los softwares BIM que existen en el mercado de infraestructura subterráneas y terrestres, confrontando las ventajas y desventajas. Además, se estudió un software específico que admite el diseño de túneles llamado HintSD. Además, se estudió el diseño y el análisis de detección de conflicto de redes, que es común en la fase de diseño y construcción en proyectos subterráneo.

Por otra parte, se realizó el análisis de un proyecto real, el cual fue la estación LianBan del metro subterráneo de la ciudad de portuaria de Xiamen, China. Los resultados encontrados se destacó la efectividad de la metodología BIM en la fase de diseño y construcción, la eficiencia para proporcionar una plataforma de trabajo colaborativo entre las diferentes disciplinas y la representación en modelos



tridimensionales de fácil entendimiento para toda clase de público, por otra parte, se identificó que el área más importante donde se destacó la metodología BIM fue la optimización y resolución de colisión de tuberías en los distintos subsistemas que componen el proyecto.

Para terminar, el documento concluye que la metodología BIM ya es una realidad y de vital importancia para el ejercicio de la ingeniería y concuerda con la mayoría de los trabajos analizados, de que el uso del BIM, todavía está en etapas iniciales en la mayoría de los países y que se debería impulsar políticas para el desarrollo y uso en proyectos de infraestructura.

4.1.3 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Con relación al análisis y recopilación de información de publicaciones científicas y de investigación, se hizo través del portal ScienceDirect y Google académico, cabe subrayar que los artículos más relevantes que se encontraron y que a continuación se describen fueron adoptados solamente de ScienceDirect. A continuación, se describirán los artículos recopilados y se ordenarán desde el punto de vista general al específico.

Para iniciar se tratará el trabajo de Aaron Costina, Alireza Adibfara, Hanjin Hub, Stuart S. Chenc, de la universidad de florida y nuevo york y se denomina (BIM) para infraestructura de transporte -Revisión de literatura, aplicaciones, desafíos y recomendaciones. O como su título en inglés Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure -Literature review, applications, challenges, and recommendations.

El objetivo general del artículo es la revisión de la literatura y un análisis crítico de la metodología BIM a la infraestructura. Revisaron 189 publicaciones entre artículos de revistas, actas de congresos e informes publicados por el sector privado.



También se tuvo en cuenta 9 categorías y 34 áreas relacionadas con la infraestructura vial.

Los resultados encontrados muestran que el uso de BIM ha ido en aumento en proyectos de infraestructura vial. Otra revelación importante es la necesidad de un formato y esquema de intercambio neutral estándar para mejorar la interoperabilidad. Y la conclusión más importante, es la colaboración continua que debe tener entre la academia y la industria, para mitigar la mayoría de los desafíos de la implementación BIM y explotar todo el potencial BIM en la infraestructura de transporte (Costin, Adibfar, Hu, & Chen, 2018).

El siguiente artículo es muy interesante porque aborda el tema de la compatibilidad e interoperabilidad que se hablaba anteriormente, sus autores son Sara Shirowzhana, Samad M.E. Sepasgozara, David J. Edwardsb,c, Heng Lid, Chen Wange de la University of New South Wales, Sydney, Australia y Huaqiao University, 361021 Xiamen, China y el artículo en inglés se denomina, BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor, que en español se traduce en Compatibilidad BIM y su diferenciación con desafíos de interoperabilidad como un factor de innovación.

La publicación revisa críticamente la literatura de compatibilidad BIM (BIM-COM) para distinguir problemas de compatibilidad a nivel organizacional y el concepto de interoperabilidad a nivel técnico. Los documentos analizados fueron de 57 de 131 y cada artículo representaba la unidad de análisis.

Los resultados dan a entender que el concepto de compatibilidad es sorprendentemente poco entendido y en muchos casos se pasa por alto en la literatura, convirtiéndose en un problema o barrera en la práctica de la implementación BIM, además deja ver una gran brecha de conocimiento para mejorar las medidas de compatibilidad y tal vez lo más importante a que los



innovadores deberían evaluar sus aplicaciones BIM antes de ofrecerlo a empresas constructoras (Shirowzhan, Sepasgozar, Edwards, Li, & Wang, 2020).

Como ya se ha hablado mucho de Occidente ahora se volcará la mirada así Oriente más específicamente a los países asiáticos más desarrollados cómo es el ejemplo la implementación BIM en Malasia, los investigadores Yasser Yahya Al-Ashmori a, Idris Othman, Yani Rahmawati, Y.H. Mugahed Amran, S.H. Abo Sabah, Aminu Darda'u Rafindadi, Miljan Mikic' de Universiti Teknologi PETRONAS Malaysia, University, 11942 Alkharj, Saudi Arabia, Amran University, 9677 Quhal, Amran, Yemen, investigan Los beneficios de BIM y su influencia en la implementación de BIM en Malasia o en inglés BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia.

Este estudio tiene como objetivo determinar la influencia de los beneficios BIM de la percepción de los interesados en la construcción de Malasia hacia su implementación. El estudio se realizó mediante una encuesta, de 590 se recolectaron 268 cuestionarios que representan un tamaño de muestra de 346.

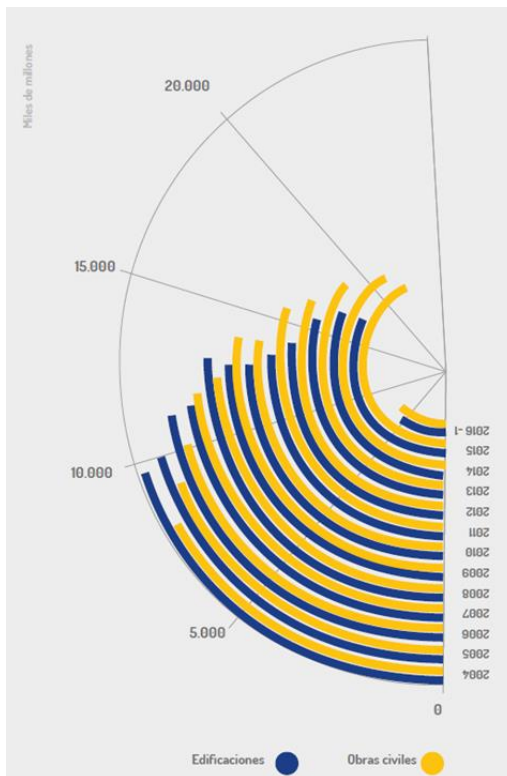
Los resultados revelaron que la mayoría de las empresas constructoras carecen de conciencia sobre la tecnología BIM. El análisis estadístico mostró que la productividad, el tiempo, el costo, los enfrentamientos y la comunicación son los beneficios BIM más esenciales que conciernen los participantes.

La recomendación general es capacitar a los profesionales de la construcción, especialmente Pymes, para generar confianza, respeto, cooperación y participación. Una buena idea es que la infraestructura como gremio centre sus esfuerzos en un estudio de caso que involucra a las PYME locales para identificar los problemas y dificultades de implementación de BIM. Para terminar el gobierno debería desplegar políticas e incentivos que influyan en factores esenciales para una exitosa implementación de la metodología BIM (Al-Ashmori et al., 2020).

4.2 ESTADO NACIONAL

Para Colombia el sector de la construcción representa uno de los mayores hitos en el crecimiento del PIB, oscilando en cifras superiores al 10% anual. No cabe extrañar que para el año 2020 y 2021, debido a la pandemia del Covid-19 este índice decrezca enormemente, puesto que el sector de la construcción es uno de los más afectados, pero con la mayor capacidad para su recuperación, en especial la construcción de infraestructura vial.

Ilustración 1. Estudio de caracterización del sector de la infraestructura de transporte



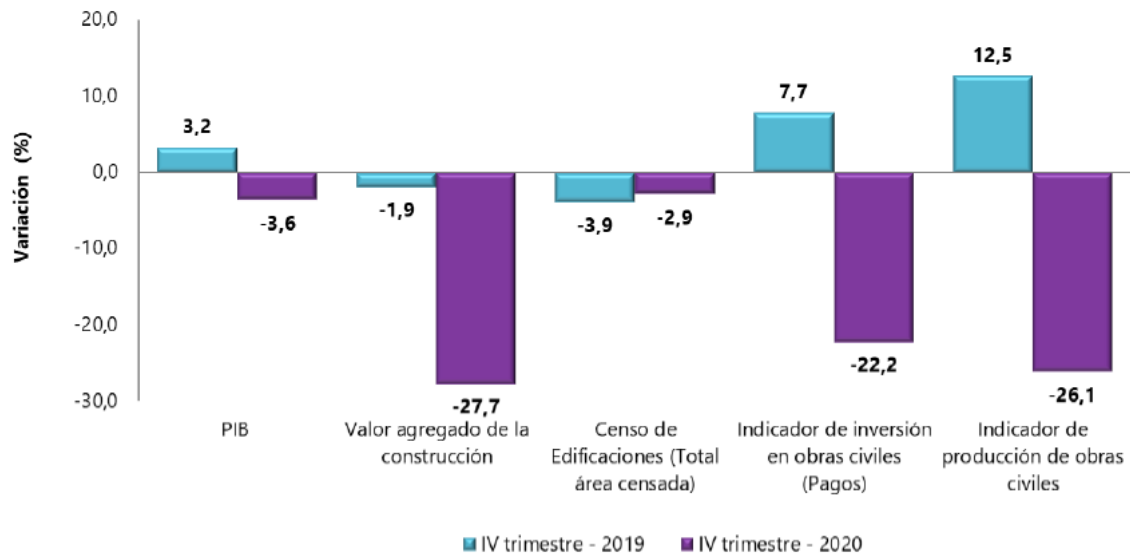
En la Ilustración 1 se muestra el impacto del sector de la construcción de edificaciones versus el sector de obras civiles en el PIB de Colombia entre los años 2004 a 2016, se determina que a partir del año 2009 la participación del sector de obras civiles en el PIB, en especial de la infraestructura vial supera el sector de las edificaciones. Lo anterior se vio reforzado gracias al programa de gobierno de vías 4G, garantizando que los siguientes años, la inversión de la banca e inversionistas privados a en el sector vial de Colombia aumentará subsecuentemente.

Fuente: (BIM KIT 2 DOCUMENTOS TÉCNICOS *infraestructura vial* 1. BIM FORUM COLOMBIA)

Cabe recordar que el año 2020, debido a la pandemia, el país recibió un duro golpe y decrecimiento del PIB en comparación con años anteriores. En la Ilustración 2, se

pueden observar indicadores como la inversión en obras civiles y su producción decrecieron enormemente comparados con el año 2019.

Ilustración 2. Variación anual de los indicadores de coyuntura del sector de la construcción



Fuente: (DANE, 2021)

Para el año 2021, se dio comienzo al nuevo programa de vías 5G, encontrando la mayor diferencia con las 4G en cuanto a la sostenibilidad de los proyectos, esto es no solo para el componente ambiental, también para los componentes sociales, económicos y gubernamentales. A su vez, el gobierno espera que este nuevo plan jalone el PIB en uno de los sectores con más rápido crecimiento del país.

Enlazando el estado actual de Colombia, se requieren nuevos procesos y metodologías para el mejoramiento y optimización de los proyectos de infraestructura vial en Colombia.

La investigación que se ha hecho en el país sobre la metodología BIM enfocado a la infraestructura vial, no se ha desarrollado como en los países europeos, sin



embargo ha nacido una propuesta interesante como lo es la asociación sin ánimo de lucro denominada la asociación colombiana BIM o ASOBIM y tiene como objetivo: divulgar los beneficios de la implementación BIM en Colombia, agrupar a todos aquellos que intervienen en el ciclo de vida del proyecto, proponer estándares de trabajo BIM, proponer un esquema BIM para la contratación pública (ASOBIM Colombia, 2016).

Los resultados que han obtenido es la generación de contenido sobre cursos virtuales sobre el uso de herramientas BIM, generación de algunas guías que son solo para usuarios, libros y videos. En general los contenidos que se pudieron analizar ya que parte de la información es solamente para los asociados, fue la aplicación BIM de manera general a todos los proyectos de ingeniería y nada específico a la infraestructura vial. Para el año 2021, se ha introducido mediante el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, la normativa NTC-ISO 19650-1, la primera de cinco capítulos traducidos, de la UNE-EN ISO 19650 de 2018 (ISO 19650-1:2018)", la cual traduce "Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios" (ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas).

Siendo la anteriormente mencionada, el primer paso para la normalización y estandarización de la metodología BIM en Colombia, así pues, se comienzan a cimentar las bases para el desarrollo de modelos BIM en Colombia.

También se realizaron búsquedas de información de trabajos académicos realizados en las diferentes instituciones y universidades del país relacionadas con la investigación, se hizo a través de sus repositorios y se encontró doce posibles tesis relacionadas al tema de estudio junto con varias ponencias y exposiciones de entidades públicas y privadas relacionadas a temas de Infraestructura vial con



metodología BIM, por su contenido y afinidad se eligieron dos trabajos de grado junto con la guía desarrollada por la Cámara Colombiana de la Construcción – Camacol, estando esta última en proceso de recepción de comentarios para mejorar la misma siendo solo la primera de su serie.

La primera tesis pertenece a la universidad Industrial de Santander y la segunda de Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Los autores del primer trabajo son Jessica Paola Forero Ávila Y Sergio Enrique Pinilla Martínez y se titula PÉRDIDAS DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EVITABLES EN LA ETAPA DE PLANIFICACIÓN, POR LA AUTOMATIZACIÓN OBTENIDA DE LA IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA DE BIM Y LEAN ONSTRUCTION.

Ellos realizaron una investigación de las posibles pérdidas que pueden ocurrir en el momento de la planificación de obras de infraestructura vial y proponen la automatización por medio de la implementación conjunta de BIM y Lean Construction, para maximizar el rendimiento y deducir un conjunto de relaciones que ayudarán en la mejora de los factores y la optimización de recursos que generan pérdidas en proyectos de infraestructura vial.

Los resultados arrojados por la implementación de los factores con la tecnología BIM fueron, beneficiosos para el cálculo de cantidades de obra rápida y precisa a través de la estimación de recursos que permite en el desarrollar el presupuesto, sin importar que tanto afecten los otros beneficios, cada uno aporta en parte a la planificación de los proyectos, para ayudar a la optimización y reducción de costos.

Los tres factores que tienden a favorecer la etapa de planificación son: los cambios de diseño, la planificación inadecuada y la preparación de planos de detalle, gracias a la estrecha relación entre los diferentes actores del proceso gracias a la



metodología BIM, y el gran beneficio es en parte a la reducción de tiempos y planificación.

Por otra parte los beneficios de la implementación de la filosofía lean construction fue muy similar a la anteriormente descrita, se puede notar en la mejora de procesos de planificación, reducción del inventario, reducción en la duración del ciclo de producción, por otra parte el factor que sigue generando un alto grado es la posible solución por las filosofías o tecnologías, es los cambios de diseño, lo que permite realizar cambios de último momento, donde se analice el problema que lo ocasiona, y se establezcan las posibles soluciones en un menor tiempo, para la ejecución del proyecto (JESSICA PAOLA FORERO AVILA & SERGIO ENRIQUE PINILLA MARTINEZ, 2018).

El segundo documento es escrito por Andrés Felipe Barreto García y aborda el tema desde la perspectiva de la interventoría y se denomina: BIM en la interventoría de proyectos: enfocado a la reducción de sobrecostos y reprocesos desde la etapa de diseño. En respuesta a la problemática donde la interventoría no logra alcanzar en su totalidad los objetivos contractuales de los proyectos.

En este contexto se propone una solución para optimizar los trabajos de interventoría y es la implementación del IPD - Integrated Project Delivery- y el BIM - Building Information Modeling, mejora eficientemente el manejo de la información del proyecto a partir de modelos de datos relacionados, ayudando la supervisión y control riguroso del proyecto.

A partir del estudio de caso: Ciudadela de Occidente de la Empresa de Desarrollo Urbano EDU, se encuentran evidencias de inexactitudes de la interventoría de diseño para este proyecto, por lo cual se generaron sobrecostos y reprocesos que se podrían evitar si la interventoría se hubiese apoyado de las herramientas tecnológicas proporcionadas por la metodología BIM.



Para concluir, el impacto de la interventoría de proyectos y obras, en lo específico que corresponde a la reducción y prevención de los sobrecostos y reprocesos, se ve impactado positivamente por la implementación de la metodología BIM y el método IPD, unificando a todos los profesionales involucrados en el desarrollo del proyecto.

BIM KIT 2 – Camacol (*BIM KIT 2 DOCUMENTOS TÉCNICOS infraestructural vial 1. BIM FORUM COLOMBIA*) Guía para la estandarización de roles y perfiles en empresas que trabajen bajo la metodología BIM (Building Information Modeling), esta guía surge con el propósito de guiar a las empresas en la implementación de buenas prácticas para el cumplimiento de la resolución 0441 de 2020 “*Por la cual se fijan los lineamientos para los curadores urbanos y las autoridades municipales o distritales competentes, encargadas del estudio, trámite y expedición de licencias urbanísticas, participantes o interesadas en participar en el plan piloto para la expedición de licencias de construcción en la modalidad de obra nueva a través de medios electrónicos.*” (*BIM KIT 2 DOCUMENTOS TÉCNICOS infraestructural vial 1. BIM FORUM COLOMBIA*)

La anteriormente mencionada, es la primera guía desarrollada por Camacol, para la implementación BIM en la Infraestructura Vial, en esta se desarrollan los beneficios de la metodología BIM para proyectos de infraestructura, refiriéndose no sólo a proyectos viales, también a proyectos de servicios e instalaciones necesarias para el desarrollo de las comunidades. También se proponen en apoyo de la maduración de los proyectos bajo el BIM, los roles que deben ser cubiertos para su consecución, los usos que pueden darse a todas las herramientas y procesos BIM.

Como conclusión principal, se destaca la optimización de recursos a la hora de remediar errores en las etapas previas de los proyectos viales, siendo la etapa de elaboración de estudios y diseños la mejor ocasión para realizar los cambios sobre



los mismos y no “(..) corregir demoras o costos en la etapa de construcción y operación de un proyecto” (Camacol, 2020).



5. MARCO TEÓRICO

El estudio de la metodología BIM es un campo nuevo en las ingenierías, que busca mejorar y optimizar los procesos constructivos, para entender su complejidad y alcance es necesario

Variables; Construcción digital, BIM, Infraestructura Vial

5.1 CONSTRUCCIÓN DIGITAL

La construcción digital se define como la propensión a la digitalización de todos los aspectos fundamentales para la realización de un proyecto, en el cual se busque mejorar la calidad, eficiencia y optimización de todos los procesos. Esto se logra no solamente realizando un diseño digital. Por el contrario, se requiere de la interconexión y mejora de la comunicación de todos los StakeHolders implicados, aumentando así la productividad, los tiempos de respuesta, la optimización del tiempo y el dinero.



5.2 PILARES DE LA CONSTRUCCIÓN DIGITAL

El negocio: Ya que es necesario de un promotor para el correcto desarrollo del proyecto.

Los clientes: Son los directos interesados en aprovechar el resultado final del proyecto.

Los procesos: La mejora continua dentro de una empresa ayudará a mejorar cada uno de los pasos para llegar a tal fin, la optimización continua de procesos se busca mediante la implementación de nuevas tecnologías.

Los trabajadores: Es indispensable su implicación total para desarrollar correctamente un proyecto y más aún para lograr la digitalización completa de los proyectos.

5.3 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DIGITAL

Modelado virtual con tecnología BIM: el modelado de la información para la construcción es lo que se conoce como metodología BIM. Este consiste en la integración de la información creada por todas las partes implicadas en un proyecto para evitar así retrasos y fallos.

La inteligencia artificial y realidad virtual: muy útiles para la agilización de proyectos, así como una mejor colaboración entre todos los participantes de un mismo proyecto.

La robótica: los drones están siendo utilizados como herramientas para recopilar datos en trabajos de topografía, así como en el seguimiento de las diferentes fases de una construcción. Asimismo, se están empezando a utilizar máquinas excavadoras capaces de almacenar información para poder trabajar de manera más eficiente al ser capaces de anticiparse a los errores.



La impresión 3D: gracias a ella se pueden fabricar partes de construcciones reduciendo así el coste de materiales y logística.

El Big Data: el análisis inteligente de todos los datos que se producen a alta velocidad permite al sector gestionar mejor toda esta información, con el fin de que sea aplicada de manera correcta. De esta manera, la productividad de las empresas constructoras mejora de forma considerable, reduciendo los costes económicos, así como los plazos de entrega (REBUILD, 2019).

Todas las nuevas tecnologías de la información, se enfocan en aumentar tanto la velocidad de producción como la calidad de los trabajos, sincrónicamente la revisión computacional y los controles virtuales mitigan los errores humanos, aumentando la eficiencia de los procesos sin perder de vista los estándares necesarios para los proyectos. No obstante, se hace necesario el apoyo del sector privado para el correcto desarrollo e implementación de los nuevos procesos apoyados con las nuevas tecnologías.



5.4 QUE ES BIM

El modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), también llamado modelado de información para la edificación es el proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (también abreviado BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

En el proyecto de segunda calzada Ibagué - Cajamarca, se buscaron optimizaciones que redujeran el tamaño de los puentes diseñados, no obstante al estar diseñado todo de manera convencional, se recurre a herramientas de presentación básicas como Microsoft PowerPoint, donde con unas sencillas líneas y una foto del lugar, se buscó mostrar a los interesados los cambios realizados en la etapa constructiva y las posibles mejoras. No obstante realizar el rediseño, cambiar los presupuestos, cambiar la línea predial, reducir el tamaño de los puentes en los diseños, tomó más de dos meses, siendo que de implementarse la metodología BIM, se podrían estudiar diversos escenarios, en tiempo real y con una mayor probabilidad de encontrar la mejor optimización.

5.5 BENEFICIOS RIM EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

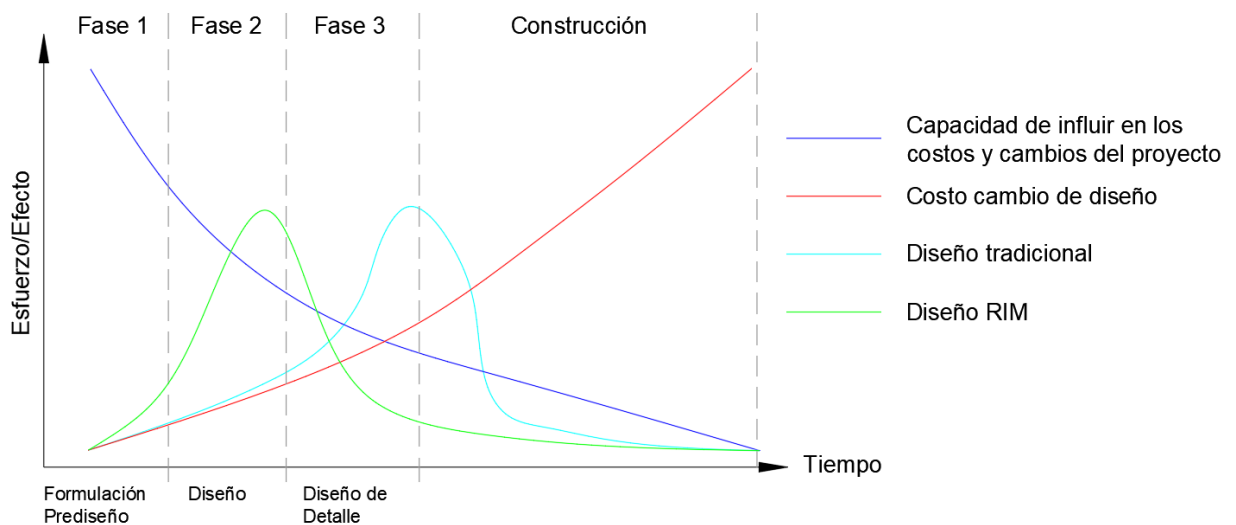
La metodología BIM ha cambiado la forma de diseñar los proyectos de edificaciones, la metodología RIM plantea realizar la misma optimización de los diseños para los proyectos de infraestructura vial, tiene como principales características con respecto a la metodología tradicional, el aumento del esfuerzo al inicio de las etapas de diseños, con el propósito de construir un modelo digital enlazado, cuya base de datos estructurada permita el desarrollo de los diseños para cada una de las especialidades.



Donde es posible realizar simulaciones para distintos escenarios y poder evaluar el desempeño del modelo concebido y observar las posibles inconsistencias e interferencias al momento de construir y así evitar aumentos de costos y plazos de entrega, además esta metodología permite tener múltiples opciones de diseño en los diferentes elementos que componen un proyecto de infraestructura vial sin generar mayores conflictos gracias a la vinculación que existe entre ellos.

Otra diferencia, es la mayor importancia que se le da al valor de la información generada a lo largo del proceso de diseño, para que las decisiones valiosas del proyecto sean tomadas en los tiempos oportunos o, dicho de otra forma, en los momentos en donde todavía existe la capacidad de influir positivamente en los costos y calidad final del proyecto.

Ilustración 3. Curva de MacLeamy – Construcción CAD Vs Construcción BIM



Una manera de representar todo esto, es por medio de la figura 1, la conocida curva de MacLeamy que, para efectos de comparar y contextualizar esta metodología con las etapas que se usan en Colombia, se le incluyó las cuatro fases de proyectos. La gráfica confronta la distribución de las curvas, siendo el esfuerzo y el tiempo los factores predominantes para comparar las metodologías de diseño tradicional Vs la



metodología de diseño BIM para edificaciones, con respecto a la capacidad de influir en los costos del proyecto y cambios de diseño antes de llegar a la fase de ejecución, siendo estos los ciclos de vida propios para proyectos de edificaciones, excluyendo la etapa de mantenimiento la cual es propia de los proyectos viales por su alto costo.

Este beneficio se produce al hecho de que se destina un mayor recurso y trabajo en las fases 1 y 2, donde todavía se tiene facilidad para realizar cambios con costos inferiores a los que se producirían de realizar cambios en la etapa de construcción, con el objetivo de que en la fase 3 se culminen todos los detalles de diseño, documentación y tramites de licencias, para eliminar inconvenientes futuros en la construcción.

Cabe destacar que para obtener el máximo beneficio, la metodología debe girar en torno a una base de datos estructurada, en donde el manejo de la información juega un papel protagónico, en un ecosistema de trabajo colaborativo entre las diferentes profesiones, donde se aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar el resultado y aportar mayor valor al proyecto, reduciendo perdidas y maximizando la eficiencia lo largo de todas las fases del diseño y la construcción.

En definitiva, el uso de la metodología en fases tempranas, junto a un flujo de trabajo colaborativo, ha demostrado en muchos proyectos europeos y estadounidenses el impacto positivo que han tenido, es por eso que incluso se están desarrollando políticas públicas en pro de la masificación, difusión y uso de BIM. Un ejemplo claro es la Directiva 2014/24 de la Unión Europea con referencia del artículo 22 a las herramientas de modelado electrónico que abren la posibilidad, de que los estados miembros implementen el uso de la metodología BIM en sus procesos de contratación de obras y servicios públicos.



Desde el sector privado también han surgido organizaciones sin ánimo de lucro para la implementación de esta metodología como lo es BuildingSMART y es.BIM, por lo que se proyecta en un futuro próximo como un requerimiento obligatorio, en el desarrollo proyectos públicos y privados.

De acuerdo a todo lo anteriormente mencionado, se busca con la presente guía metodológica implementar las herramientas y filosofías BIM con un enfoque diferenciador, dónde se adapten los procesos, esquemas y análisis para su uso en el desarrollo de proyectos viales en Colombia, es por esto que decidimos llamarlo RIM (Road Information Modeling), puesto que a diferencia del BIM, se requieren nuevos procesos y ajustes a las metodologías tradicionales que se han venido implementando en todo el territorio nacional para los proyectos carreteros.

Las APP (Asociaciones Público Privadas) abren las primeras puertas para la correcta implementación de RIM, puesto que su marco jurídico (*Ley 1508 de 2012*) y de desarrollo así lo permiten, siendo la comunicación y transparencia los pilares fundamentales para su correcto funcionamiento.

5.6 MARCO LEGAL

Comenzando con la ley 80 de 1993, el gobierno colombiano emprende una encrucijada para convertir el sistema de contratación, en una locomotora de impulso para la industria de la construcción, gracias a esta ley y sus consecutivas, se logra lanzar la primera ola de construcción de infraestructura vial, ahora conocidas como la 1G o primera generación, esto sesga aún más la brecha que se tiene en este periodo histórico por los grandes rezagos en desarrollo de las vías principales, comunicando inicialmente las capitales más productivas del país, abaratando los costos asociados al transporte de mercancías desde y hacia el centro del país.

En el año 2012 se creó la ley 1508 donde se regulariza y permite la creación asociaciones público-privadas éstas fueron copiadas de los modelos



internacionales ya que fortalece el marco legal de las administraciones gubernamentales. Esta favoreció aún más el desarrollo de nuevos proyectos con financiación privada, atrayendo a la banca y a inversionistas no sólo locales. Como grandes conglomerados quienes vieron potencial en la inversión en la infraestructura vial colombiana. Años más tarde se han podido crear APP's para la construcción de otro tipo de infraestructuras como hospitales, urbanizaciones, edificios gubernamentales y hasta la operación y mantenimiento de la red de iluminación pública de Bogotá D.C.

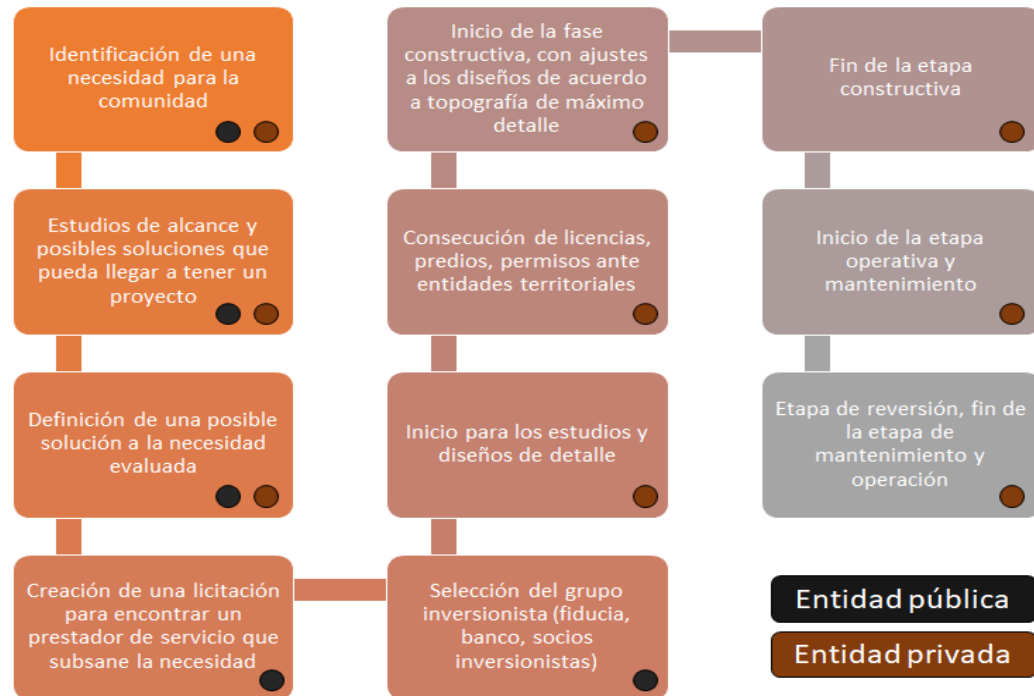
En la actualidad el gobierno colombiano ha desarrollado varias leyes, que han permitido desarrollar una serie de iniciativas de asociación público-privada en las cuales interviene y mejora la infraestructura vial, mediante el impulso de la inversión privada con muy poca o nula financiación pública, en el momento de la construcción y ejecución. No obstante, también han surgido imprevistos que obstaculizan el buen hacer de los proyectos.

Un ejemplo claro de la interferencia política en el desarrollo de la infraestructura vial y de movilidad, es la reciente ley 1882 del 2018 donde en una jugada audaz se permitió la adjudicación del metro de Bogotá en tiempo récord, siendo que la contratación de este no se podría dar con anterioridad a esta ley, en el último año del periodo del alcalde de la capital.

En el siguiente esquema, se representa los pasos más generales a seguir en el proceso de consecución y construcción de una APP, cabe resaltar que las partes involucradas (estado - privados) se ven involucrados en varias etapas, esto ayuda a respaldar económica y técnicamente los proyectos, sean de iniciativa pública o privada.



Ilustración 4. Pasos generales a seguir en el proceso de consecución y construcción de una APP



Fuente: Elaboración propia

El modelo anteriormente descrito, busca una repartición de los riesgos asociados, beneficiando mayormente a los inversores, con una alta mitigación de los riesgos asociados. No obstante, no deben olvidarse casos como el de Odebrech donde una multinacional extranjera, soborno a las personas encargadas de llevar a cabo los procesos de adjudicación, “Fiscalía pide a Corte Suprema investigar a ocho congresistas y un exministro por caso Odebrech” (Tiempo, 2017), obteniendo la Ruta del Sol (uno de los proyectos más damnificados) entre otros proyectos de índole nacional. Esto confirma que aún debemos implementar un marco jurídico aún más fuerte que reestablezca y promueva el desarrollo de la infraestructura vial colombiana.



6. METODOLOGÍA

6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El siguiente trabajo se realizó enmarcado en un estudio proyectivo, donde se busca desarrollar una guía metodológica para su aplicación en el campo de la ingeniería civil, acorde con (HURTADO, 2010) “tiene como objetivo diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de arquitectura e ingeniería, el diseño de maquinarias, la creación de programas de intervención social, el diseño de programas de estudio, los inventos, la elaboración de programas informáticos, entre otros, siempre que estén sustentados en un proceso de investigación, son ejemplos de investigación proyectiva. Este tipo de investigación potencia el desarrollo tecnológico” (p. 325).

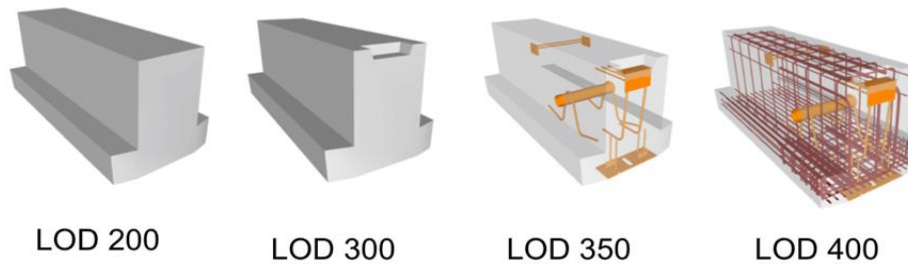
No obstante, se requerirán muestreos de los programas más utilizados en el desarrollo y aplicación de la metodología BIM, requiriendo de una investigación del mercado de Software más utilizado para el diseño, planificación y control de las obras de infraestructura vial. Además de una exhaustiva revisión de los autores más recientes respecto al tema, pues es de reciente desarrollo y con muy baja aplicación en los medios de desarrollo de proyectos constructivos.

6.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se guiará por los pasos básicos en la implementación de la metodología BIM para un proyecto de construcción vertical como el BIM Execution Plan desarrollado por la Universidad Estatal de Pensilvania. Pero se estudiarán variaciones y el contexto nacional del estado colombiano, para modificar, agregar y acoplar lo mejor posible este procedimiento, a la consecución de un proyecto de infraestructura vial colombiana.



Ilustración 5. Niveles de LOD



Fuente: *MUNDO BIM*

También se deben definir las características de los elementos, esta información puede ser más detallada o en algunos casos más sencilla, no obstante, la información no depende inequívocamente del nivel de detalle del dibujo, y por el contrario, se puede avanzar en su recopilación para ayudar a madurar el modelo, a esto se le llama como niveles de desarrollo LOI (Level Of Information) de acuerdo con Gonzalez-2019 “complejidad del contenido no gráfico de los modelos en cada una de las etapas”.

Esto permitirá esclarecer los beneficios económicos y la escala de desarrollo de los niveles LOD y LOI que se requieran detallar, para la correcta estructuración de los proyectos de infraestructura vial.

6.3 FASES DE EJECUCIÓN

Fase 1: Determinar el alcance de la investigación, delimitando las principales funciones que se necesitan analizar, para la consecución de un proyecto BIM en Infraestructura Vial.

Fase 2: Realizar un muestreo intencional, en el ámbito de la ingeniería civil, para determinar los programas computacionales más utilizados para la consecución de un proyecto de infraestructura vial.



Fase 3: Se desarrollará la guía metodológica determinando las variaciones que se deben tener en cuenta y los ajustes necesarios, para la implementación de la metodología BIM en las empresas de construcción de infraestructura vial.

En el siguiente esquema se explica el procedimiento establecido para la creación de la guía metodológica de aplicación BIM, además se proponen los factores más relevantes para tener en cuenta para su correcta ejecución. Los ejes primordiales para desarrollar el correcto funcionamiento de la metodología ayudan a delimitar los alcances, deberes y responsabilidades de los Stakeholders directamente implicados, también se seleccionarán las herramientas mayormente usadas en la estructuración de los proyectos, sin dejar de lado todas las herramientas necesarias para su trazabilidad, ejecución y control.

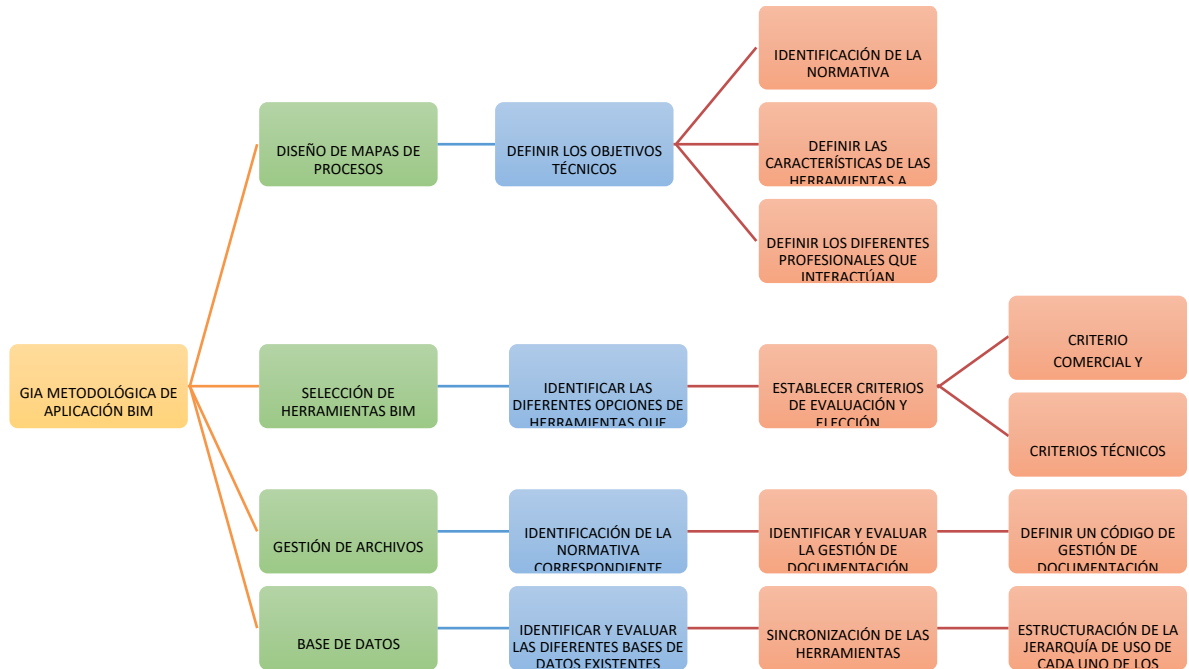
Es necesario un correcto control de la documentación, que permita una actuación rápida en todos los componentes sin comprometer la calidad de los mismos, esto ayudará a registrar todos los cambios y ejecutar optimizaciones en tiempo real, la finalidad es agilizar toda la gestión documental, al punto de no requerir intervención de correos para la resolución de los problemas, que aún que se respaldan las decisiones tomadas, dificultan el tiempo de respuesta y la comunicación espontánea a todos los interesados.

La reducción de los errores, tiempos de espera en respuestas, información incongruente, parcial o duplicada serán cosas del pasado, puesto que la trazabilidad de la gestión de los Stakeholders apunta siempre al mejoramiento de todos los subprocesos concernientes.

La centralización de la información en una sola base de datos permutará en la correcta dosificación jerárquica de los datos, esto ayuda no sólo a dirigir correctamente la atención a los directos responsables, sino que visibiliza la urgencia de la obra a los diseñadores, controladores y ejecutores quienes podrán en tiempo

real, aprobar o desaprobar los cambios, además de sugerir posibles instancias de solución.

Ilustración 6. Mapa de la metodología



Fuente: Elaboración propia

Fase 4: Para finalizar, se presentarán las conclusiones y recomendaciones para la implementación de la guía metodológica BIM en cualquier proyecto de infraestructura vial colombiano, recomendando las posibles variaciones que se puedan dar para su desarrollo en otras investigaciones.



7. FASE 1 – PRINCIPALES FUNCIONES DE BIM PARA PROYECTOS VIALES

Para la consecución de proyectos viales mediante la metodología BIM, se analizarán las principales necesidades de este sector en cuanto a funcionalidad, entornos colaborativos, mejoras en la comunicación y traslado de información, modelación 1D a 7D y el ciclo de vida del proyecto.

7.1 FUNCIONALIDAD DE LA METODOLOGÍA BIM PARA PROYECTOS VIALES

Para la consecución de un diseño vial se requieren de diferentes especialidades, estas deben estar en constante comunicación para evitar generar colisiones como lo son las redes hidráulicas y secas, así como para perfeccionar las conexiones en las estructuras que las requieran, tanto para su funcionamiento o como paso forzado para su conectividad.

En la actualidad, para el diseño vial en Colombia, se realizan implantaciones en un solo modelo digital en 2D donde el coordinador de diseños revisa y solicita a los diferentes dibujantes la resolución de colisiones, que se pueden generar dentro del proyecto. El modelo 2D permite interpretar por coordenadas y cotas las diferentes líneas de redes, no obstante, esto se encuentra sujeto a errores humanos que, muy posiblemente afecten el proyecto tanto a corto como largo plazo.

Los modelos tridimensionales a pesar de ser muy útiles, tomaban bastante tiempo para su construcción digital, además de requerir un enorme esfuerzo de presentarse cambios.

La metodología BIM, simplifica las cosas, reduciendo los tiempos de modelamiento 3D, esto se logra estandarizando los materiales, tiempos y recursos para generar familias o nodos de información.

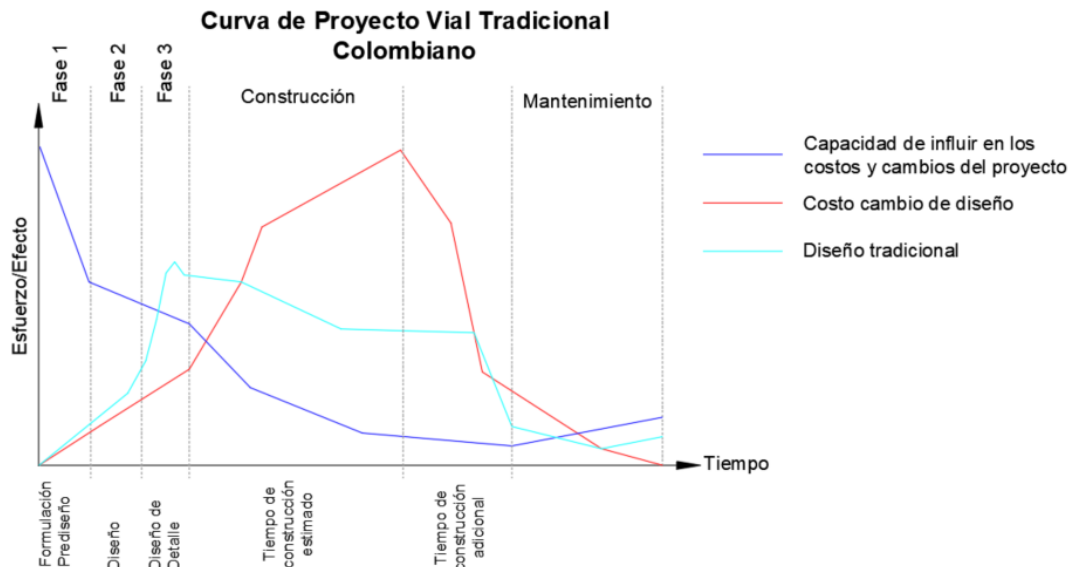


Estos nodos, pueden unirse para generar un modelo no solo tridimensional, también llegando a contar con información respecto al costo del material, el tiempo requerido para su instalación y los recursos que se requieren para utilizarlo. Esto aligerará los tiempos de diseño, permitirá la visibilidad del proyecto por las otras partes interesadas que no tienen una formación en el diseño y por, sobre todo, permitirá revisar las colisiones que se generen en los diseños viales.

El aumento del tiempo para el desarrollo de los proyectos viales, es fundamental para su correcta estructuración y procesamiento, no se refiere a aumentar el tiempo de ejecución total, más si a aumentar el tiempo de diseño y reducir los tiempos de construcción.

Visto de otra manera, un proyecto vial que se encuentra bien desarrollado, no tendrá contratiempos adicionales en diseños y las eventualidades que se puedan presentar serán mejor mitigadas. Reduciendo así los tiempos de ejecución.

Ilustración 7. Adaptación de Curva de Mac Leamy Desarrollo de Proyectos viales en Colombia



Fuente: Adaptado de Curva de MacLeamy



En la Figura 1, se pueden observar cómo se desarrollan en la actualidad los procesos de los proyectos viales en Colombia, con la metodología tradicional de diseño CAD.

Lo que es claramente apreciable es que aún en las etapas de construcción se siguen adelantando procesos de diseño y rediseño, puesto que los mismos no fueron desarrollados al nivel de detalle requerido para comenzar la etapa de construcción, conllevando a cometer errores que claramente se pudieron haber previsto en las etapas iniciales del proyecto.

Por otra parte, los tiempos para las etapas de diseños son muy inferiores a las necesarias, esto puede deberse en la mayoría de los casos a los calendarios políticos de las regiones, dónde el comienzo, puesta en marcha y fin de los proyectos se rigen por el comienzo y fin de las diferentes administraciones.

No obstante, la implementación de nuevas metodologías que desliguen estos dos aspectos, ayudará a desarrollar mejor los proyectos, permitiendo su maduración sin importar los dirigentes que se encuentren en el poder estatal.

El uso de softwares para el sector de la infraestructura vial en Colombia, ha mejorado potencialmente en las últimas décadas, no obstante, se hace evidente que el uso de software pirata en muchas empresas colombianas incluyendo las empresas de construcción es un delito que sigue estando presente “...El 48 % del software instalado en Colombia es pirata (Tiempo, 2018), esto se debe en muchos casos, a los costos asociados a la legalidad del software que se requiere para el diseño vial. Muchas veces siendo superado por los recursos asociados a los proyectos.

Un aspecto fundamental para cualquier proyecto constructivo vial, es la capacidad de adaptación al entorno, espacio y tiempo en el que se requiere, no obstante, en



la actualidad a pesar de la búsqueda gubernamental por obtener mayores beneficios para toda la sociedad y las comunidades cercanas al proyecto, no es posible adaptar en su totalidad el mismo, principalmente por la brecha de tiempo entre la elaboración de los estudios, diseños y la etapa de construcción, la lentitud con que se ejecutan los mismos, la pérdida de información y falta de su visibilidad por las comunidades impactadas.

Sin embargo, la metodología BIM brinda la capacidad de mantener y enriquecer la información obtenida y desarrollada. Creando una base de datos única, que no sólo mantiene almacenada la información de manera jerárquica y sistemática, también permite un intercambio directo de los hitos fundamentales para cualquier proyecto vial. Además, un acceso instantáneo y en tiempo real a todos los diseños especializados.

Una parte fundamental para la inclusión de nuevos procesos, tecnologías y metodologías en el mercado, es la conectividad entre el sector educativo y el sector productivo subsecuente. Siendo que, para la ingeniería civil colombiana, se cuenta con pocos espacios para establecer estas comunicaciones, la metodología BIM permite crear varias conexiones sin necesidad de ser intrusiva, tanto para el mejoramiento del sector académico como para la implementación de nuevos conocimientos en el sector productivo.

Una plataforma dónde se comparte la información y la misma no se ve interrumpida por burocracias y actividades administrativas que poco o nulo valor agregado generan, permitirá desenrollar las incertidumbres que se tienen respecto a los proyectos en tiempo récord, mitigando los riesgos y haciendo visibles todos los problemas e inconvenientes que se tienen a la hora de ejecutar los estudios y diseños.

No se deben olvidar todas las ventajas que pueden obtener entidades gubernamentales sobre la ejecución de los proyectos, permitiendo ser auditados en



tiempo real y localizando los posibles focos de corrupción e inexactitudes que pueden desarrollarse a lo largo del ciclo de vida de un proyecto vial. La concentración de la información en un solo punto y su apertura a la verificación de los entes de control, marcaran un hito histórico en la reducción de los índices de corrupción.

7.2 MEJORAS ADMINISTRATIVAS ORGANIZACIONALES

Para el desarrollo de las diferentes etapas de los proyectos viales en Colombia, siempre se ha supeditado la eficiencia y los ahorros que se pueden obtener de un proyecto al personal con mayor experiencia, así el mismo pueda tener o no la razón sobre el curso de acción para la efectiva ejecución de los proyectos.

Sin embargo, en la mayoría de los casos la inexperiencia y falta de un registro histórico y veraz, obstaculizan realizar la optimización que se requiere para generar ahorros, disminuyendo la eficiencia y productividad que bien se pueden generar en todo tipo de proyectos.

Un espacio importante ha de desarrollarse para la correcta cuantificación de desperdicios y pérdidas gracias a la metodología BIM, ya que en la actualidad los proyectos han reducido este importante espacio a un porcentaje irrelevante sin ningún análisis de fondo.

- Ahorros y eficiencia
- Evaluación y cuantificación de desperdicios
- Combinación de herramientas tecnológicas y no tecnológicas
- Trabajo colaborativo
- Reducción de tiempos
- Trazabilidad de la información



7.3 REQUISITOS TÉCNICOS GENERALES PARA RIM

A continuación, se describirán todos los requerimientos técnicos generales para la implementación del RIM, estos comprenden todos temas operativos, como son Software, Hardware y la secuencia de procesos para la interconectividad. Esto con el fin de agilizar todas las secuencias de actualización y generación de políticas para la implementación de RIM dentro de las empresas públicas o privadas.

7.1.1 SOFTWARE

Para la implementación de RIM, se requerirá de algunos softwares tradicionales de diseño y control ya conocidos en el sector de la Infraestructura Vial Colombiana, no obstante, se requiere principalmente de una plataforma virtual, sobre la cual se estructurarán todos los proyectos y procesos.

Dicha plataforma deberá subsanar las necesidades de todos los profesionales, en cuanto a los siguientes requerimientos:

Accesibilidad

La plataforma deberá permitir a todos los profesionales asociados al proyecto un acceso simple, con altos estándares de seguridad y por, sobre todo, con diversas fuentes de entrada de información, esto último hace referencia a las diversas plataformas de hardware con las que se cuenta en la actualidad como son; celulares, tabletas, celulares, portátiles, workstations, monitores inteligentes entre otros.

En cuanto al acceso simplificado, se busca la generación de un enlace limpio e ininterrumpido con toda la información del proyecto, este acceso debe realizarse en tiempo real para mejorar los tiempos de respuesta, no obstante existen opciones como actualización horaria dónde la información recopilada y cambios realizados se



cargan en un estado de desconexión para luego ser cargados a una hora predefinida, esto funcionará como solución a las áreas de gestión que no siempre puedan contar con una conexión ininterrumpida a la base de datos o a internet.

Siempre existen soluciones ofimáticas y se pueden desarrollar aplicativos básicos para cualquiera de las necesidades, dependiendo de la capacidad que se busque y versatilidad de actualización se lograrán reducir los costos asociados.

Jerarquización de la información

El orden y la jerarquía de la información tanto de diseño como de estudios, debe ser organizada de tal manera que, el procesamiento de la misma información no suponga un reto de liberación de permisos, subsecuentemente el RIM Manager debe encargarse de anticipar los procesos y consecuencias de los cambios que se deban hacer sobre los datos.

Visualización

Una de las mayores ventajas de implementar el RIM, es la posibilidad de hacer visible a todos los miembros del equipo del proyecto que se desea desarrollar, esto incluye a todas las ramas que se vean involucradas indiferentemente de su profesión o especialidad, el RIM Manager se encargara de priorizar la información que requiera mayor visibilidad, siendo incluyente con todos los involucrados y atendiendo las necesidades de cada uno de ellos, puesto que entre los mismos a pesar de encontrarse en el mismo entorno de trabajo y colaboración, no se puede esperar su mismo nivel de interpretación y manipulación de los datos.

Base de datos

La columna vertebral de todo entorno colaborativo, en la cual se encuentra toda la información del proyecto/s, en un orden lógico, jerárquico y con otorgamiento de permisos de acceso de fácil gestión. El RIM Manager, podrá crear los perfiles de los

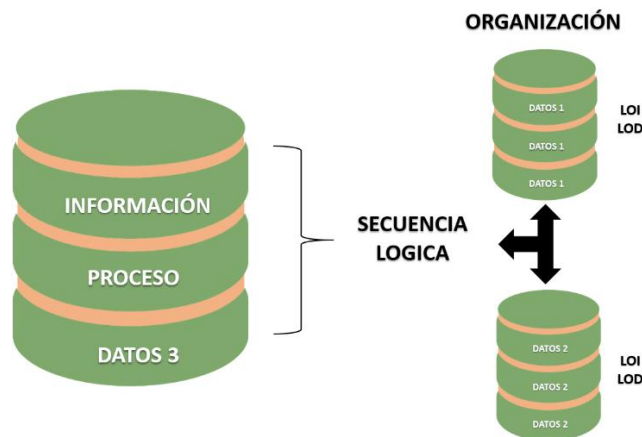


usuarios y otorgar los permisos requeridos para acceder a la información en un mayor o menor grado y dependiendo de las necesidades de sus diseñadores, directores, profesionales y especialistas.

La trazabilidad de la información deberá encontrarse organizada y lista para ser verificada en cualquier momento por quien lo requiera, agregando valor a toda la información desarrollada hasta el final de cada proyecto, la información se encontrará disponible y con acceso desde cualquier lugar del mundo.

Una base de datos colaborativa, permitirá un acceso instantáneo a toda la información del proyecto, no solo para los implicados directos, sino también para cualquier agente externo que desee auditar, revisar y controlar los indicadores de los proyectos, entidades gubernamentales y territoriales podrán acceder para verificar el estado de los proyectos en tiempo real y sin ningún apremio. Esto aumentará el nivel de transparencia de los negocios y disminuirá efectivamente los tiempos desperdiciados en resolver asuntos de cualquier índole.

Ilustración 8. Estructura básica para base de datos



Fuente: Elaboración propia



La base de datos, debe poder tener uno o más respaldos que permitan proteger la información de ataques informáticos, daños físicos y condiciones incontrolables como desastres climáticos.

Trazabilidad

La finalidad de mantener la información centralizada, es poder realizar un seguimiento minucioso a todo el ciclo de maduración y procesamiento de la misma, un registro histórico de su actualización y cambios, disminuirá los reprocesos, evitará los sobrecostos por errores de envío de información y por sobre todo, permitirá optimizar en tiempos récord los estudios y diseños.

El entorno laboral actual, permite que se realicen muchos cambios de personal y especialistas, dificultando así la maduración correcta de la información para lograr la meta del proyecto, con una trazabilidad extensiva y en lo posible automatizada, permitirá que cualquier experto en las diferentes áreas tenga un registro de los cambios que la información ha sufrido a lo largo de su proceso de transformación.

Evidentemente las entidades externas y auditorías podrán fortalecer su impacto dentro de los proyectos, ahorrando enormes costos en la búsqueda infructuosa de los errores, mayor mente humanos.

Cronograma y Programación

El establecimiento de un cronograma de actividades y una programación para cualquier proyecto es fundamental para su correcto desarrollo, no obstante, las herramientas y metodologías no se encuentran en el entendimiento de todos los profesionales. Siendo la mayor tarea compartir, argumentar y retroalimentar las mismas.

Por tal motivo, la plataforma escogida, debe permitir una actualización constante de los estados del proyecto, de las necesidades nuevas y los impactos adversos que



puedan sufrir. La actualización constante con los factores inherentes y externos al proyecto, permitirán dilucidar su culminación y termino a buen fin.

Además, la plataforma deberá propiciar los siguientes aspectos para poder potenciar los proyectos de infraestructura vial.

Colaboración en tiempo real

La centralización de la información en una sola plataforma informática, permitirá acceder a ella no solo para su consulta, también para la interacción con la misma, su actualización y procesamiento, claro está que, al hablar de colaboración en tiempo real, no se debe limitar solo al trabajo secuenciado y sin tiempos de espera en envío y recepción de información. Se trata de establecer las conexiones entre todos los centros de información de cada especialidad que permita un flujo de trabajo orgánico y sincrónico.

La eliminación automática de los tiempos muertos, además de agilizar el procesamiento de la información y dinamizar su estructuración, permitirá aumentar el rendimiento de cualquier equipo de trabajo independientemente del tamaño del proyecto.

Edición en línea básica y avanzada

El aprovechamiento total de los software y hardware existentes y más usados en el mercado colombiano es uno de los principales obstáculos a vencer. Esto se debe a la resistencia del mercado de desarrollo y construcción de proyectos, puesto que la capacitación sobre los nuevos procesos es desmeritada y pasada a un segundo plano, sin la relevancia propia que se merecen.

El uso adecuado de todas las herramientas de hardware es supeditado a las generaciones entrantes de especialistas, no obstante, las empresas que se han embarcado en la actualización no solo de sus equipos informáticos, también de su



personal. Han encontrados soluciones y alternativas en muchos casos más beneficiosas que las tradicionales, aumentando rendimientos en tiempos y costos.

Sabemos que los beneficios en el corto plazo, sumado a los costes de actualización representan el mayor obstáculo para la implementación de nuevas tecnologías y procesos, pero los beneficios en el largo plazo y la creación de plataformas mejor implementadas a las necesidades de los proyectos, generan un mayor valor ganado que el uso de lo “tradicional”.

Medios de comunicación enriquecidos

Los medios de comunicación actuales, permiten la transmisión de la información en tiempos instantáneos, no obstante, esta velocidad de transmisión incurre en fallos básicos, debido en su mayoría a los errores humanos, puesto que la información se comparte a mayor velocidad de lo que es procesada, verificada y aprobada.

No obstante, existen soluciones y alternativas que permiten automatizar la clasificación de la información, su disposición y discretizar el nivel de detalle de la misma, convirtiéndose en una rama fundamental para el desarrollo de los proyectos. La información debe ser, analizada, discutida y trazabilizada para enriquecerla, esto evita reprocesos, mal entendidos, confusiones y corrupción de lo transmitido.

Flujo de aprobaciones

La jerarquía, sobre la toma de decisiones debe surtir un cambio para no convertirse en el cuello de botella de los proyectos viales, la existencia de nuevas tecnologías que permiten corroborar la autenticidad de los documentos, firmas y aprobaciones ya se encuentra en uso en el mercado. Pero la obstinación del mercado a su correcta implementación la ha reducido, a procesos anteriores a la construcción digital como los escáneres.



Siendo importante agilizar la velocidad no solo de procesamiento de información, también de aprobación y publicación de toda la información que ya sea congruente para los estándares administrativos y metas del proyecto.

Plantillas y formatos

El uso de formatos para la recolección y resumen de información es un pilar fundamental para cualquier tipo de proyecto vial, no obstante, la automatización en la toma de información es muy relevante a la hora de procesar la misma, para poder obtener un análisis sustancioso y beneficioso para los proyectos. Sin embargo, hoy se siguen utilizando plataformas físicas que dificultan el procesamiento de la información para la toma de decisiones ágiles que benefician a los proyectos, además de que las mismas son propensas a errores humanos, haciendo perder el valor real a la información recolectada.



8. FASE 2 – Muestreo Intencional - Programas de Ingeniería para vías más utilizados

Para el desarrollo de la segunda fase, se realizó una encuesta de muestreo intencional por conveniencia, su objetivo fue, la verificación de los programas más utilizados para cada una de las especialidades que deben desarrollarse para un proyecto vial, tal como son; diseño geométrico, diseño de pavimentos y geotecnia, diseño estructural, diseño hidráulico, modelación de tránsito, diseño arquitectónico y SIG-CAD, siendo las anteriores, las disciplinas base para la realización de los proyectos viales.

La encuesta online, conto con preguntas abiertas y cerradas, dónde se buscó perfilar los profesionales y especialistas de acuerdo a sus años de experiencia, ubicación geográfica y tipos de software más usados para el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura vial.

La encuesta online fue dirigida a público relacionado con la construcción de proyectos viales, fue publicada en diversas plataformas sociales, grupos de discusión y perfiles profesionales, se permitió el acceso a la misma entre el 21 de junio del 2020 y el 31 de diciembre del 2020.

8.1 DESCRIPCIÓN DE LA ENCUESTRA

Para contextualizar a los encuestados, se publicó el título de la tesis:

Encuesta para Tesis de Maestría en Infraestructura Vial: DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM APLICADA A LAS CONDICIONES DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

Se realizó una encuesta compuesta, en primera instancia se realizaron seis (6) preguntas base para identificar a los encuestados, siendo las siguientes, las características principales:



Tabla 2. Encuesta Perfilamiento de Encuestados

PREGUNTA	RESPUESTAS MÚLTIPLES O ABIERTAS	OBJETIVO
País	País en el cual se encuentra	Determinar que el encuestado se encuentre dentro del territorio nacional
Ciudad o Departamento	Ciudad o departamento, dónde se encuentra	Enmarcar las ciudades desde las cuales ejercen su profesión
Profesión	Ingeniería Civil, Ing. Catastral, Ing. Industrial, Ing. Topográfico, Arquitecta, Dibujante, tecnólogo en construcción, técnico en construcción, topógrafo, bióloga, psicóloga, trabajador social, administrador de empresas, forestal, otros...	Demarcar las profesiones a las cuales pertenecen los encuestados y identificar las otras profesiones que se encuentren desarrollando sus actividades dentro de los proyectos de infraestructura vial.
Nivel Educativo	Técnico, Tecnólogo, Profesional, Especialista, Magister, Doctorado, Post – Doctorado	Determinar la escala profesional en la cual se encuentra el encuestado
Años de experiencia (desde la fecha de expedición de la licencia)	Pregunta abierta	Determinar el grado de experiencia del encuestado y confirmar su experiencia después



PREGUNTA	RESPUESTAS MÚLTIPLES O ABIERTAS	OBJETIVO
		de adquirido el grado académico
¿Cree usted que la recopilación, gestión y análisis de la información de un proyecto vial, pueda centralizarse?	Pregunta abierta	Determinar el grado de información que tienen los encuestados respecto a la centralización de información.

Entre algunas de las respuestas abiertas más relevantes se encuentran las siguientes;

- *Se debe centralizarse con el fin de analizar, procesar y tomar decisiones.*
- *Claro que si se puede. De hecho, en algunos proyectos con empresas extranjeras ya se hace.*
- *Si ... Generalmente en proyectos viales se centraliza el manejo de la información con el fin de agilizar los procesos*

Segunda etapa de la encuesta, se enlistaron algunos de los principales programas más utilizados para el desarrollo de cada especialidad, además se dejó la posibilidad de agregar programas adicionales que se encontraran fuera de los ya mencionados;

Tabla 3 Encuesta perfilamiento de programas más utilizados

PREGUNTA	RESPUESTAS MÚLTIPLES O ABIERTAS	OBJETIVO
Diseño estructural	CYPECAD Autodesk Robot Autocad	Determinar el o los programas más utilizados para el



PREGUNTA	RESPUESTAS MÚLTIPLES O ABIERTAS	OBJETIVO
	ETABs Staad Pro MIDAS Ninguno RCB - EngSolutions SAP2000 Otros... Ninguno	desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.
Presupuesto y programación de obra	Excel Project Primavera P6 Opus SINCO - ERP MasterSoft Navisworks JD edwards – Oracle Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de presupuestos u programaciones para proyectos de infraestructura vial.
Diseño de geométrico de carreteras/vías	Civil 3D Autodesk InfraWorks 360 Eagle Point Bentley OpenRoads Designer Topo 3 Aashto 93 Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños geométricos para proyectos de infraestructura vial.
Diseño de pavimentos Rígidos y Flexibles	Circly AASHTO Dispav-5 Despav Dipav 2.0 Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños de pavimentos para proyectos de infraestructura vial.
Diseño hidráulico	HecRas Hydraulic Toolbox Cypecad	Determinar el o los programas más utilizados para el



PREGUNTA	RESPUESTAS MÚLTIPLES O ABIERTAS	OBJETIVO
	CalCol Otros... Ninguno	desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.
Modelación de Transito	Visim - Visum TransModeler SYNCHRO KRONOS METROPOLIS TransCAD Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.
Diseño arquitectónico	Revit SketchUp Rhinceros AutoCad 2D Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.
Sistemas de información geográfica	ArcGIS Ninguno Rhinceros AutoCad 2D OpenJUMP QGIS Otros... Ninguno	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.
Observaciones sugerencias y comentarios	Respuesta abierta	Determinar el o los programas más utilizados para el desarrollo de diseños estructurales para proyectos de infraestructura vial.

Entre algunas de las respuestas abiertas más relevantes se encuentran las siguientes;



- Para proyectos viales hace falta, con cuál se hace seguimiento ambiental y social debido a los nuevos proyectos concesionados 5G
- Se podría articular información de manera dinámica y de fácil acceso para los proyectos viales
- Sería importante unificar la información y de fácil acceso y manejo

8.2 RESULTADOS ENCUESTA

Se obtuvieron en total 137 respuestas, repartidas de la siguiente manera;

Tabla 4. Cantidad de encuestas por grados profesionales

CIUDAD O DEPARTAMENTO	ESPECIALISTA	MAGISTER	PROFESIONAL	TECNÓLOGO	TOTAL, GENERAL
Arauca	1				1
Barranquilla	5	5	2		12
Bogotá	14	7	7	1	29
Bucaramanga	4	1		1	6
Cali			4	7	11
Cartagena	3	3	2	4	12
Cúcuta	4	3	5	3	15
Cundinamarca	1				1
Funza / Cundinamarca			1		1
Ibagué	7	3	2	7	19
Medellín	2	5	3		10
Norte de Santander			1		1
Soacha	4	1	1	1	7
Tolima	2				2
Tunja	4	1	3	1	9
Villavicencio		1			1
Total, general	51	30	31	25	137

Fuente: Elaboración propia – Resultados de encuesta

Como se puede observar en la Tabla 4, se obtuvieron resultados a nivel nacional desde la mayoría de los centros productivos del país y zonas cercanas a Bogotá como Soacha y Cundinamarca, siendo la encuesta una medida mesurada del panorama nacional, en cuanto a programas utilizados para la el desarrollo de los diseños viales.

Para correlacionar el nivel de experticia de los encuestados con los programas utilizados para el diseño vial, se solicitaron los años de experiencia a partir de la obtención de la licencia profesional o inicio de sus actividades profesionales.

Siendo lo anterior una medida importante para corroborar que la información recopilada se sustente mediante la experticia de las personas encuestadas. Obteniendo un promedio de 6.7 años de experiencia en el diseño vial, medida no alejada de la realidad por las exigencias de manejo de software y capacitación para los mismos.

Tabla 5. Promedio de experiencia vs niveles profesionales

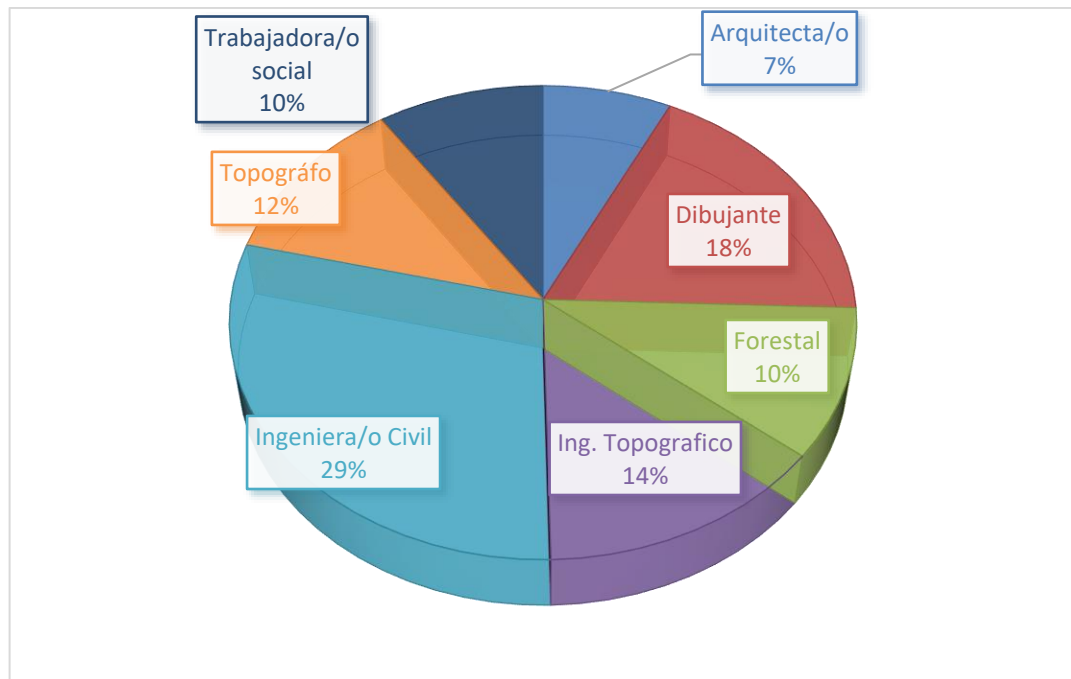
Nivel Profesional	Promedio de cuantos años de experiencia tiene en el sector de la construcción (Desde que se expidió la tarjeta profesional)
Tecnólogo	5,5
Profesional	5,8
Especialista	7,4
Magister	7,4
Total, general	6,7

8.3 ESPECIALIDAD DE ENCUESTADOS

La encuesta fue dirigida a todos aquellos profesionales que se encuentren en el medio del diseño y la construcción de infraestructura vial, tomando como fundamentales a algunos de ellos como; ingenieros civiles, topógrafos y dibujantes. Permitiendo así la participación de especialidades que si bien, no se encargan directamente del diseño vial, son fundamentales para su correcto desarrollo, más ahora con la búsqueda de las gestiones ambientales, sociales y forestales.

En la Ilustración 9, se muestra la distribución de los profesionales, que participaron en la encuesta online, la mayoría de ellos pertenecientes a la ingeniería civil, un claro indicador de la participación de la ingeniería civil en el desarrollo de proyectos viales. También se observa participación de otras ramas como social y forestal, siendo que las mismas participan activa y transversalmente en la mayoría de proyectos viales.

Ilustración 9. Porcentaje de participación por especialidad



Fuente: Elaboración propia

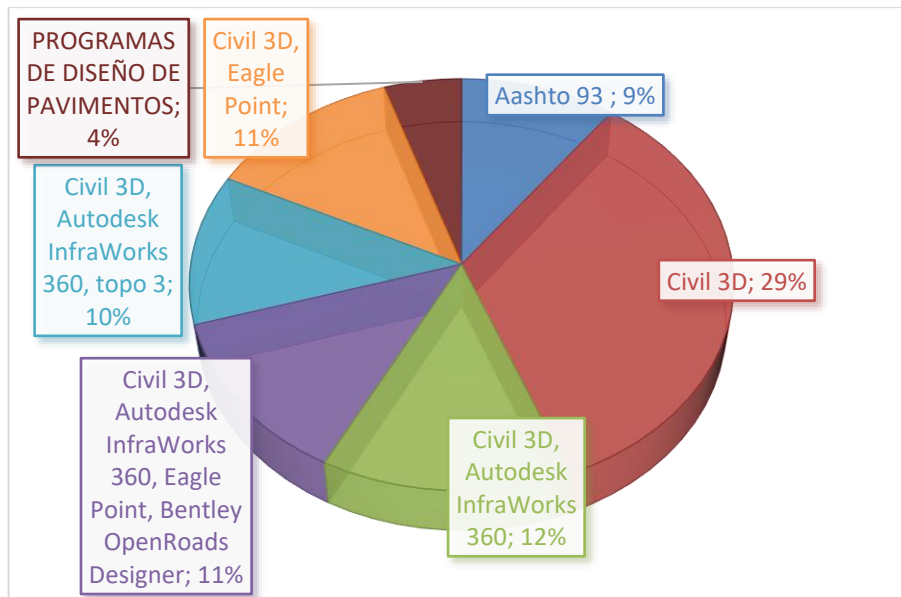
Sabemos que en el mercado universitario se encuentran ingenierías y licenciaturas que cruzan varias de las anteriores especialidades, pero no existe medición alguna de cuántos de ellos participan activamente en el desarrollo de un proyecto vial.

8.4 DISEÑO GEOMETRICO DE CARRETERAS

En la Ilustración 10, se detallan los programas más utilizados para el diseño geométrico de carreteras, siendo por prestancia Civil3D de la casa Autodesk el mayormente usado en el mercado colombiano, al igual que la combinación del mismo programa con otros de la misma casa ya que las suites ofrecidas brindan la interoperabilidad, aun así existen limitantes en la adquisición de los mismos por su elevado costo para las empresas constructoras de carreteras.

Cabe resaltar que se dejó abierta la posibilidad de ingresar otros programas diferentes a los listados en la pregunta de la encuesta, resaltando en la confusión entre los softwares utilizados para el diseño de la estructura de pavimentos y los programas de diseño geométrico.

Ilustración 10 Programas más utilizados para Diseño Geométrico en Vías



Fuente: Elaboración propia

Cabe notar que programas como Infracore se han desarrollado con una estrategia de venta comercial de proyectos viales, puesto que se busca visibilizar los proyectos para actores tan importantes como los inversionistas o el propio estado.

Como se mencionó anteriormente, uno de los problemas con programas como Civil3D es sus bajas prestaciones en el momento de generar una previsualización del proyecto, creando archivos pesados y haciendo más difícil la comprensión por personal no directamente interesado

8.5 DISEÑO DE ESTRUCTURAS

Para el diseño estructural se utilizan diversos programas, siendo AutoCad2D el más utilizado para todos ellos como se ve en la Ilustración 11, esto se debe a su flexibilidad para el manejo de grandes volúmenes de información además de estar disponible en todo el mercado y facilitar todas las tareas de detallado y perfeccionamiento de planos. No es un software utilizado para el cálculo de estructuras, pero si necesario para la maduración de los diseños.

Ilustración 11 Programas más utilizados para Diseño Estructural en Vías



Fuente: Elaboración propia



No se observa un programa que se encuentre por encima de la media para el cálculo de estructuras, pero si se observa variedad en el uso de software, además del uso combinado de muchos de ellos, esto solo demuestra el nivel de especialidad que se requiere y experticia que debe existir en los profesionales para el uso de los mismos. Además de la variación de software dependiendo del diseño que se requiera, aprovechando las ventajas máximas que ofrece cada uno de ellos para diferentes tareas.

Con un total de 79.56% de respuestas afirmativas para el uso de alguno de los softwares de diseño estructural, queda demostrada su necesidad para el desarrollo de proyectos viales.

8.6 ELABORACIÓN DE COSTOS, PRESUPUESTOS Y PROGRAMACIÓN DE OBRA

De acuerdo a la Ilustración 12, el programa más utilizado en la elaboración y control de presupuestos y programaciones de obra es Excel de la casa Microsoft, siendo esta la herramienta con mayor acogida por las empresas en el territorio colombiano para la realización de este tipo de actividades, así como también el uso del programa Project, en el cual se pueden desarrollar programaciones de obra, rutas críticas y determinar el avance de los proyectos de forma ágil. Lamentablemente este programa no tiene salidas gráficas que sean de fácil comprensión, tampoco una manera fácil que permita conocer e ingresar información a los miembros de un equipo de trabajo.



Ilustración 12. Programas más utilizados para presupuestos y programaciones de obra vial



Fuente: Elaboración propia

También se puede concluir como se utilizan en conjunto varios de los programas mencionados, puesto que muchas veces uno solo no basta para suplir todas las necesidades de los proyectos. Esto se traduce en pérdidas de información, nula trazabilidad, aumento de inercia en los proyectos, reprocesos y sobre costos en cada una de las etapas.

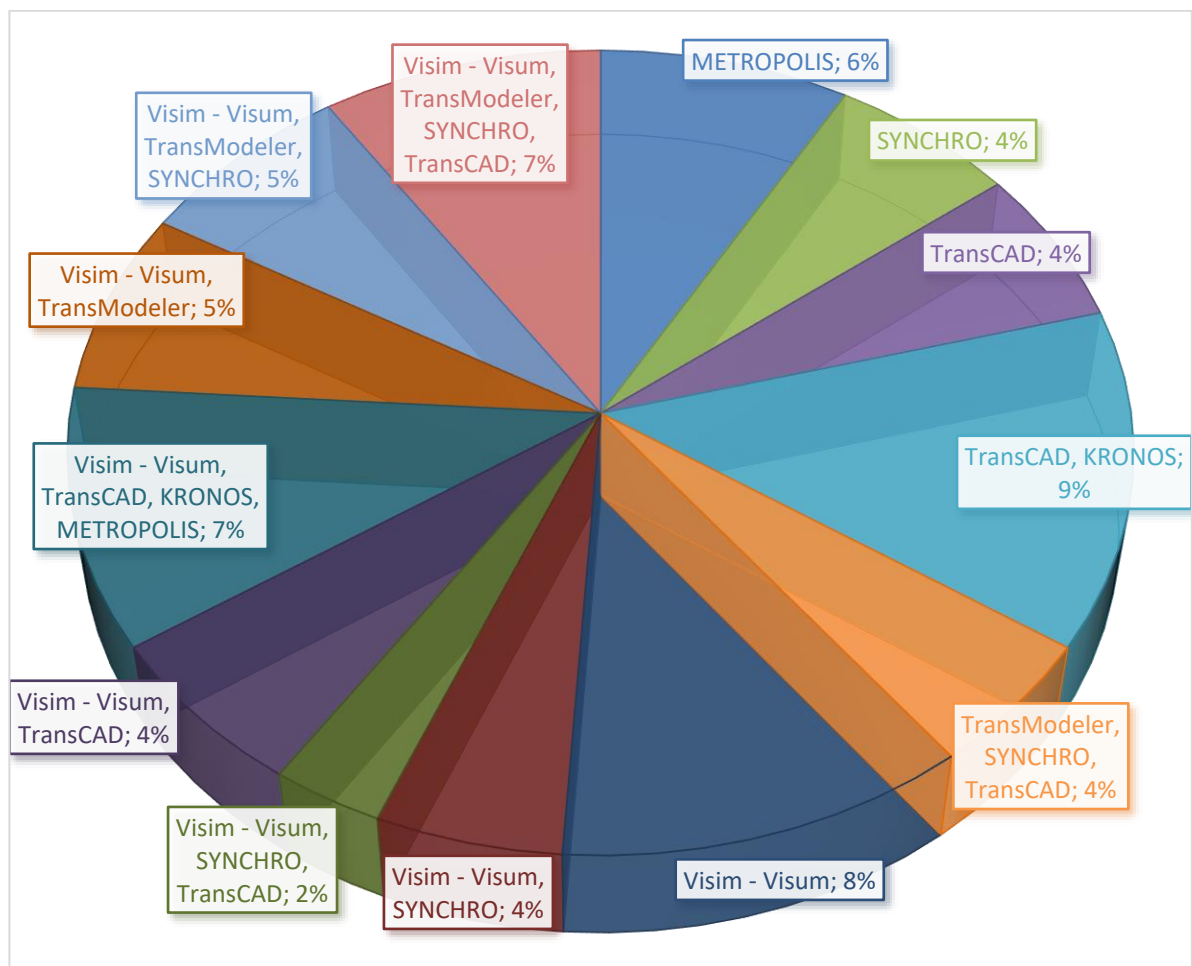
Por otra parte, cabe notar que otros programas fuera de la casa de Microsoft Office, están siendo usados para las especialidades de costos, presupuestos y programación de obra que, aunque no sean participaciones significativas, demuestra que ya se están usando softwares diferentes a los tradicionales. La

actualización de las herramientas ofimáticas se encuentra en aumento en el mercado de las empresas de construcción vertical.

8.7 MODELACIÓN DE TRANSITO EN VÍAS

Para el modelado de transito se observa un menor porcentaje de uso de software, esto debido a la necesidad y nivel de experticia requeridos para su uso, además de los escasos en el mercado laboral de plazas laborales que aporten al desarrollo de este sector.

Ilustración 13. Programas más utilizados para Modelación de Transito en Vías



Fuente: Elaboración propia



En la actualidad para la elaboración de diseños hidráulicos para vías y carreteras, se encuentran muy pocos programas que puedan ser de utilidad como se ve en la Ilustración 14, son pocos los softwares que pueden emplearse en estas actividades.

No obstante, la mayoría de ellas permite una conectividad en varios formatos a otras plataformas de diseño y maduración de planos. Siendo la principal AutoCad2D. En el mercado al igual que para las modelaciones de tránsito, se encuentra un bajo mercado para experiencias dónde se estén utilizando, muchas veces relegándolas a actividades poco o nada convenientes a sus funciones.

8.8 DISEÑO HIDRAULICO

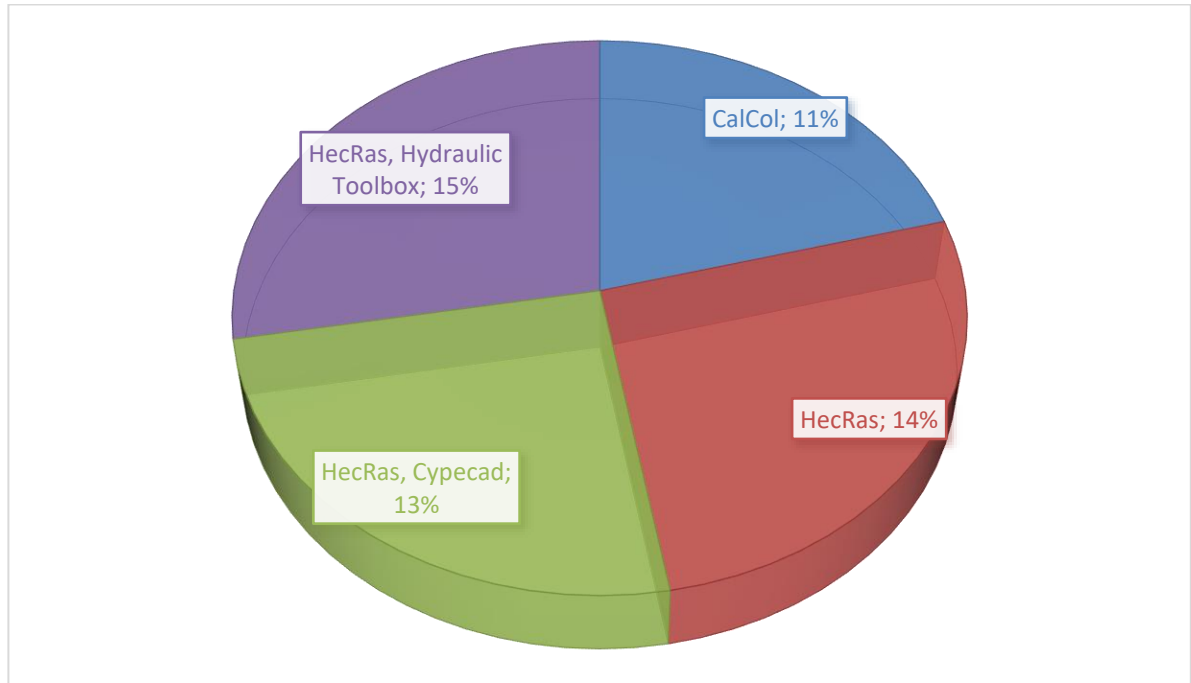
En la Ilustración 14, se encuentran algunos de los programas mayormente utilizados, siendo HecRas el predominante en uso, sorpresivamente softwares como Autodesk Sanitary&Storm no se encuentran en el listado, posiblemente por desconocimiento del público y debido a la falta de recursos para su adquisición, la cual es bastante elevada.

También es alarmante la falta variedad para los diseños y modelaciones hidráulicas requeridas para proyectos de infraestructura vial, siendo escasos los programas que cumplan las necesidades del sector en el mercado colombiano.

No obstante, no es del alcance de la presente investigación tener un inventario completo de los softwares que son utilizados para la infraestructura vial, más si se invita a su capacitación, promoción y esparcimiento de las experiencias obtenidas.



Ilustración 14. Programas más utilizados para Diseño Hidráulico en Vías



Fuente: Elaboración propia

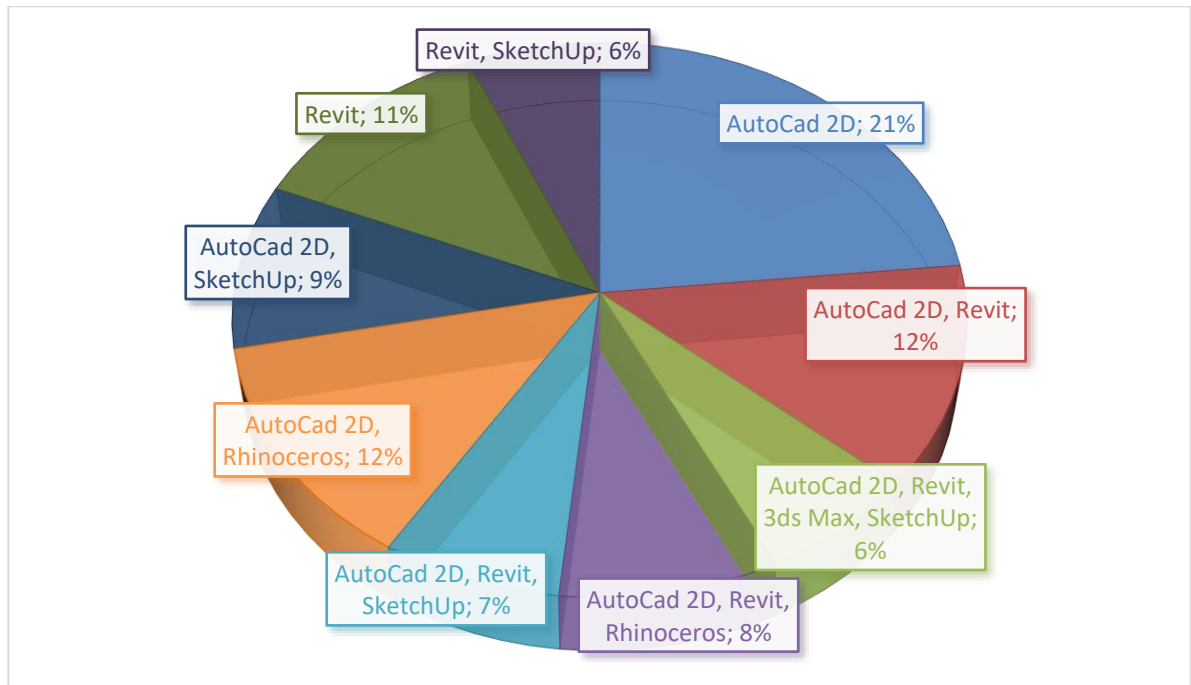
Un factor fundamental para el desarrollo y comprensión de la utilidad de los softwares de diseño hidráulico es la capacitación y nivel de acceso de los mismos.

8.9 DISEÑO ARQUITECTONICO

En muchas ocasiones se desconocen los diseños de espacios urbanos, como parques, pasarelas y andenes entre otros que son desarrollados por arquitectos y urbanizadores, siendo necesario su inclusión dentro del desarrollo del proyecto en etapas iniciales. La metodología RIM permite interconectar las necesidades arquitectónicas a los desarrollos viales próximos, además de ayudar con la conservación de los espacios ambientales desarrollados.



Ilustración 15. Programas más utilizados para Diseño Arquitectónico en Vías



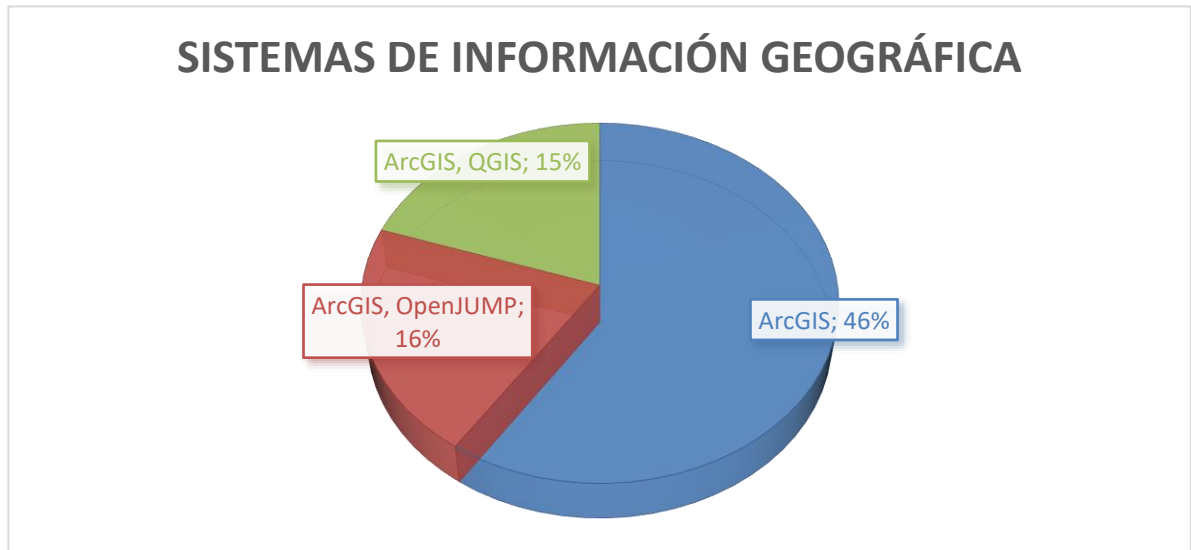
Fuente: Elaboración propia

8.10 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA

Son escasos los programas necesarios para el manejo de información geográfica. Esto se debe a su alto precio en el mercado, baja accesibilidad y desconocimiento en su funcionamiento y utilidad. No obstante ramas como la ingeniería ambiental, están desarrollando utilidades que permiten realizar trabajos en campo en tiempo real, revisar grandes cantidades de información y volumen para luego procesarlas y obtener un mejor modelo del terreno sobre el cual se está diseñando.



Ilustración 16 Programas más utilizados para Sistemas de Información Geográfica en Vías



Fuente: Elaboración propia



9. FASE 3 – DESARROLLO DE LA GUÍA METODOLÓGICA RIM PARA LA IMPLEMENTACIÓN DENTRO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL EN COLOMBIA

9.1 METODOLOGÍA BIM – LIMITACIONES PARA SU DESARROLLO DENTRO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Siendo la metodología BIM desarrollada en su totalidad con base en los proyectos de construcción vertical, como edificaciones habitacionales e infraestructura comercial. Se analizó su versatilidad y adaptabilidad para proyectos de infraestructura vial, encontrando diferencias sustanciales entre las tipologías de proyectos.

La estructura principal y objetivos de la metodología ya establecida y desarrollada cumple con las exigencias y necesidades del sector carretero de Colombia, no obstante, su empleabilidad y uso dependerán del enfoque que se desee tomar. Sin embargo, se encontraron diferencias sustanciales que de no ser rectificadas y mejoradas impedirían su adopción por el sector de la construcción de infraestructura vial.

Como primera limitante se encontró la amplitud y recursos necesarios para la realización de los proyectos viales, siendo este el impedimento principal para su adopción mediante los software y herramientas ya desarrolladas para BIM, un ejemplo claro se da en las áreas y distancias dónde ocurren los proyectos viales, que, al querer ser modelados y digitalizados, de no tener un hardware competente limitarían el grado de acción y empleabilidad de la metodología BIM.

Tabla 6. Deficiencias de la metodología BIM para su aplicación en proyectos viales colombianos

HITOS A MEJORAR	BIM	OPTIMIZACIÓN
Costo de implantación	Su aplicabilidad a infraestructura vial no está plenamente identificada, aumentando sus costos	Se ajustará la empleabilidad de la metodología para su aplicación en proyectos de infraestructura vial colombiana.
Colaboración limitada	Comunicación de implicados en los proyectos viales no es igual a proyectos verticales	Se busca la herramienta más sencilla posible para la realizar la comunicación entre los interesados del equipo, con base en software ya utilizado.

HITOS A MEJORAR	BIM	OPTIMIZACIÓN
Resistencia al cambio	Su aplicación a vías no a sido evaluada, aumentando la reticencia a implantarla	Se emplean software y hardware preexistentes, junto con capacitaciones básicas que permiten su aplicación.
Impacto socio-económico	Se desconoce su impacto a niveles socio-económicos para las comunidades	Se busca enlazar las especialidades transversales que se involucren al proyecto vial.
Magnitud y amplitud de los proyectos	Sus herramientas se enfocan en proyectos centralizados con menor cantidad de variables a proyectos viales	Se usarán herramientas preexistentes en el mercado, abarcando todas las variables para proyectos viales y facilitando su empleabilidad independiente la magnitud del proyecto vial.
Metodología de contratación privada/pública	No se encuentra establecido el marco legal y jurídico para su aplicación en Colombia	Se emplea el marco legal y jurídico existente en Colombia para la aplicación del mismo.
Relación con sistemas no BIM	La relación con herramientas no BIM, impide su aplicación	Se relacionan los sistemas y revisan la aplicación de los mismos para la metodología.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 6, se requiere de la optimización de los procesos, herramientas y de toda la metodología BIM para su implementación en los proyectos viales de Colombia, acoplando la misma a las necesidades del sector, de las empresas constructoras, consultores, diseñadores, entidades estatales, gobernaciones y todos los implicados en los proyectos de infraestructura vial para poder aplicar sus facilidades y llegar a las metas propuestas por la metodología BIM, es por esto que a factor diferenciador, se denominara la metodología RIM (Road Information Modeling).

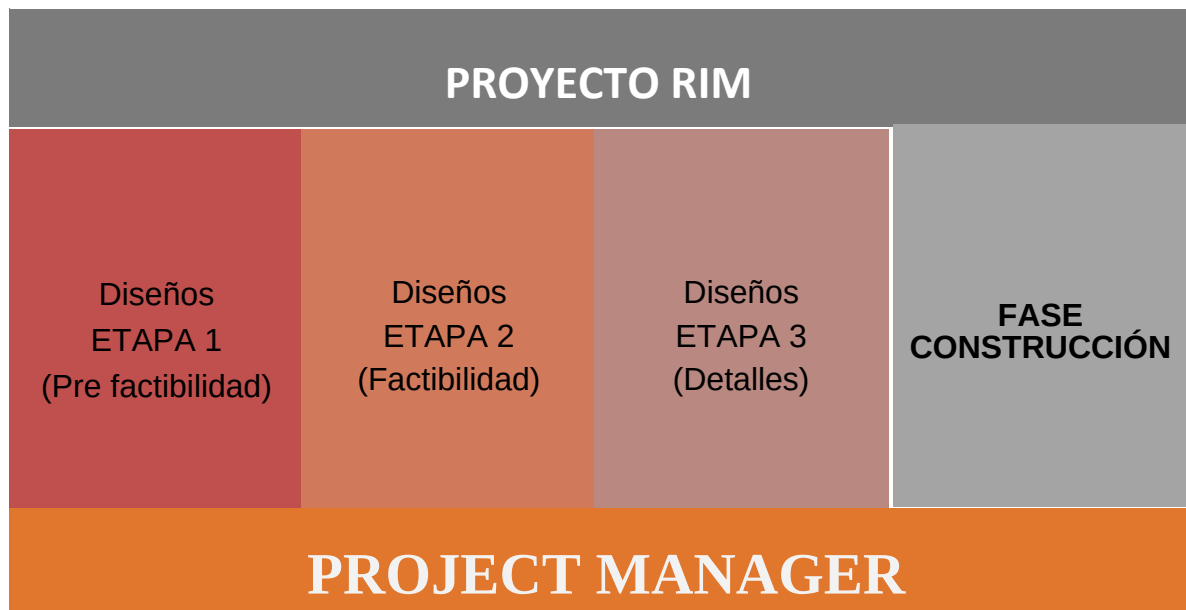
9.2 FLUJO DE DESARROLLO DE PROYECTOS RIM

Para el correcto desarrollo e implementación de RIM, se requiere la mejora de las diferentes fases de evolución de los estudios y diseños para un proyecto vial, tomando como base el BIM Execution Plan, se plantea el acompañamiento durante todas las etapas de desarrollo, siendo fundamental para realizar la maduración de los diseños en etapas iniciales, detallando en edades tempranas los estudios para mitigar la mayor cantidad de incertidumbre respecto a su implementación y construcción.



Todo lo anterior requerirá de un mayor esfuerzo e inversión en etapas iniciales, pero reducirá enormemente la incertidumbre sobre el proyecto, despejando dudas sobre su plausibilidad. Siendo mejor evaluados los costos, beneficios y riesgos del mismo.

Ilustración 17. Ciclo de vida de proyectos viales



Fuente: Elaboración propia

Para el correcto funcionamiento de las herramientas RIM, se requieren esclarecer los perfiles de las especialidades que intervendrán en el desarrollo de cada una de las fases del proyecto, a fin de facilitar la interacción interdisciplinar y realizar la maduración del proyecto desde sus etapas iniciales, con los más altos grados de calidad, eficiencia y orden.

En primera instancia se requiere la centralización de la información en una sola base de datos, esta debe ser estructurada correctamente para que todos los integrantes del proyecto puedan tener acceso a la misma, bajo un orden jerárquico y de acuerdo a la información que requieran para desarrollar sus propósitos dentro del proyecto. Por lo cual deben establecerse los roles y funciones que se requieren de acuerdo a



las necesidades del proyecto, realizando perfiles por especialidades que les permitan a los participantes cumplir sus objetivos tanto a corto como mediano plazo, una vez definidos estos se podrán concretar los datos de entrada requeridos por cada profesional para poder realizar sus respectivos estudios y diseños.

Cada perfil especialista deberá tener una base de datos propia, la cual permita realizar los diseños y estudios sin afectar la base de datos central, esto con el fin de filtrar adecuadamente la información, evitar confusiones y permitir el correcto desarrollo de los demás profesionales en su labor. Así las cosas, se requiere de un RIM Manager, el cual se encargará de organizar, controlar, actualizar y verificar la información que sea cargada a la base de datos, como se puede observar en la Ilustración 17. No obstante, todos los proyectos requieren de profesionales en áreas financieras y jurídicas, pero una vez procesada la información por el Project Manager, esta debe ser de fácil consulta para estas ramas especializadas.

Por último, pero no menos importante, se encuentra el gerente del proyecto el cual se encargará de integrar todos los insumos y necesidades administrativas del proyecto, así como de la toma de decisiones relevantes para la formulación y realización del proyecto.

La retroalimentación y constante actualización, son factores importantes a la hora de realizar la maduración de los estudios y diseños, puesto que la determinación de interferencias entre especialidades permitirá estudiar y resolver en edades tempranas, las mejores soluciones propuestas directamente por los especialistas, evitando así la toma abrupta de decisiones en la etapa de construcción, que si bien en ocasiones son muy requeridas, no son bien evaluadas desde el punto de vista presupuestal de los proyectos.

La centralización de la información y su visibilidad por todo el equipo de trabajo, permitirá evaluar en tiempo real, diversas alternativas y soluciones a los requerimientos del proyecto, esto a su vez optimizará la toma de decisiones de los



gerentes y directores, evitando así factores externos que de otra manera retrasarían abruptamente su comunicación como es el caso de los correos electrónicos y otros medios de mensajería instantánea que a pesar de que, como su nombre lo indica, no permiten realizar una correcta trazabilidad sobre la información disponible.

Ilustración 18. Esquema básico de trabajo RIM



Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 18, muestra un esquema básico para el correcto funcionamiento e implementación del RIM en cualquier organización, claro está que esta deberá ser adaptada de acuerdo a las necesidades de cada empresa o cada proyecto, puesto que al requerir la intervención multidisciplinar no se debe descartar la interacción entre diversas consultorías desarrolladoras de los proyectos.



Claro está que un esquema centralizado, requerirá de una plataforma informática dónde todos los participantes puedan tener acceso y se permita la trazabilidad sobre todos los estudios, diseños y cambios que se desarrollen a lo largo del progreso de las fases.

Basados en los manuales y guías desarrolladas por las entidades gubernamentales nacionales, las cuales rigen sobre los proyectos viales, se desarrolló un índice con los alcances necesarios para el correcto desarrollo de los estudios y diseños en cada una de las fases, no obstante, es inherente a cada organización, mejorar los entregables y adaptarlos a las necesidades de cada proyecto.

La singularidad de la metodología RIM aplicada a los proyectos viales colombianos, yace en el perfeccionamiento y maduración de los E&D en las etapas iniciales de los proyectos para así mitigar la incertidumbre sobre su correcto planteamiento, diseño, construcción y mantenimiento.



9.3 MODELADO RIM

9.3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO RIM

El modelado RIM para un proyecto de infraestructura vial, está constituido por elementos virtuales que se construyeron con base de los requerimientos o necesidades del entorno en donde se desarrolla, permitiendo generar la representación digital de las necesidades ambientales, sociales, técnicas, jurídicas y prediales del proyecto, a partir de bases de datos de información estructurada con representación tridimensional y no tridimensional. Con el objetivo de centralizar y vincular la información generada por los profesionales pertenecientes al equipo de trabajo. Permitiendo evaluar de forma ágil y efectiva las diferentes alternativas de diseño en distintos escenarios en los que estará sometido, obteniendo como resultado, una perspectiva privilegiada al momento de la toma de decisiones en las etapas de diseño, construcción y operación.

Según la organización internacional para la promoción de BIM, BuildingSMART, nos introduce a la era de la cuarta revolución industrial, en donde el avance del sector de la construcción evoluciona de sistemas de diseños tradicionales basados en información análoga y digital no vinculada, a la incorporación de información geométrica en 3D, tiempo 4D, costos y presupuestos 5D, energético y ambiental 6D, mantenimiento y operación 7D. Así mismo con respecto a las dinámicas de trabajo, se promueve un ambiente más cohesionado y colaborativo entre los diferentes actores implicados, resultando así en uno de los pilares más importantes de la metodología.

9.3.2 REQUERIMIENTOS DEL MODELADO RIM

En esta sección se expone algunas consideraciones claves que se deben tener en cuenta cuando se inicia el diseño, con el propósito de estructurar las actividades



claves o las más comunes entre los actores del proceso, para evitar fallos en el flujo de trabajo colaborativo del modelado.

9.3.3 FICHA DESCRIPTIVA DEL MODELO

El responsable en liderar el proyecto debe iniciar el modelado con la realización de una ficha en donde se describan el objeto principal, hitos más importantes, de los diferentes softwares con los que se va a trabajar, trazabilidad de la diferentes versiones y los usos para el cual se está realizando el modelo, para que todos los actores implicados en proceso tengan acceso a la idea central y lógica del proceso de modelado.

9.3.4 GEORREFERENCIACIÓN

Es necesario identificar el sistema de coordenadas que se utilizara para todos los modelos del proyecto. Para este caso se aconseja seguir las recomendaciones del capítulo uno del manual de diseño geométrico de carreteras de INVIAS, en el cual dice que: para modelos de terreno y diseños de carreteras, se debe utilizar coordenadas enlazadas al sistema del instituto Geográfico Agustín Codazzi. Que Según la última resolución 471 de 2020 del IGAC, la producción de cartografía básica oficial de Colombia deberá adoptar la proyección CTM12, definida por los siguientes parámetros:



Tabla 7. Características Proyección CTM12

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Latitud de origen	4° N
Longitud de origen	73° W
Falso Este	5'000.000
Falso Norte	2'000.000
Unidades	Metros
Factor de escala	0.9992

Fuente: Resolución 471 de 2020, IGAC.

9.3.5 INICIO DE LA MODELACIÓN

El modelo del diseño geométrico es fundamental en cualquier fase del proyecto de infraestructura vial basado en la metodología BIM, el modelo geométrico es la base para el resto de del desarrollo de los modelos de las demás disciplinas involucradas por lo cual el trazado del proyecto será únicamente determinado por el ingeniero geométrico y validado en el transcurso de la etapa de vida del proyecto, por los demás profesionales del equipo de trabajo colaborativo.

Adicional a que cada disciplina debe aplicar el diseño geométrico como base de su modelo, deberá estar pendiente de monitorear sus cambios en el tiempo con el propósito de una vinculación exitosa en el modelo federado.

9.3.6 NIVEL DE DESARROLLO DEL MODELO

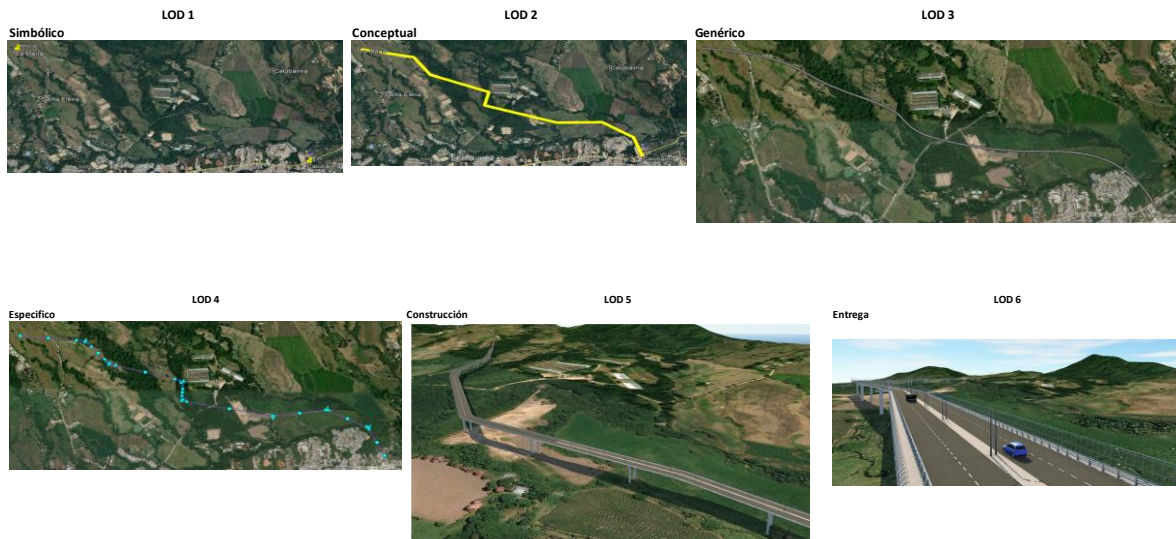
NIVEL DE DESARROLLO GRAFICO (LOD)

El criterio de nivel de detalle o complejidad grafica de los elementos en cada ciclo de vida del modelado, se eligió fue la referencia el protocolo de tecnología BIM de AEC del reino unido (Takim, Harris, & Nawawi, 2013), sección 7.2 y es el LEVEL OF



DETAIL, que también tiene las siglas LOD como la referencia norteamericana, estas etapas fueron definidas como simbólico, conceptual, genérico, específico, construcción y entrega. Hay que mencionar, además, que este criterio de desarrollo gráfico deja muy en claro que la apariencia grafica es completamente independiente de los metadatos vinculados a los elementos, en la siguiente imagen se ilustra los distintos niveles de detalle.

Ilustración 19. Ejemplo ilustrativo niveles LOD



Fuente: Elaboración propia

LOD1: simbólico

Marcador de posición simbólico que representa un objeto que puede no estar a escala o tener valores dimensionales. Esto es particularmente relevante para los símbolos eléctricos que pueden no existir nunca como un objeto 3D.

LOD2 – Conceptual

Contenedor de posición simple con nivel de detalle mínimo absoluto para ser identificable, por ejemplo, como cualquier tipo de silla.



- Representación dimensional superficial.
- Creado a partir de material consistente: ya sea 'Concept-White' o 'Concept-Glazing'.

LOD3 - Genérico

- Un modelo genérico, suficientemente modelado para identificar el tipo y los materiales componentes.
- Normalmente contiene un nivel de detalle 2D adecuado para la escala "preferida".
- Las dimensiones pueden ser aproximadas.

LOD4 - Específico

- Un objeto específico, suficientemente modelado para identificar el tipo y los materiales componentes.
- Dimensiones precisas.
- Objeto de "intención de diseño" de producción o reconstrucción que representa el final de las etapas de diseño.
- Adecuado para adquisiciones y análisis de costos.

LOD5: para construcción / renderizado

- Un objeto detallado, preciso y específico de los requisitos de construcción y los componentes del edificio, incluida la geometría y los datos de subcontratos especializados.
- Debe incluir todos los subcomponentes necesarios adecuadamente representados para permitir la construcción.



- Se usa solo cuando una vista 3D a una escala suficiente considera que el detalle es necesario debido a la proximidad del objeto a la cámara.

LOD6: entrega

- Una representación modelada con precisión del objeto construido.
- Cualquier irregularidad o excentricidad de la construcción debe modelarse.

Al momento de aplicar esta metodología de desarrollo gráfico, puede dar como resultado varias versiones del elemento con diferentes grados de desarrollo. Otro punto que se debe tener en cuenta es, a especificaciones adicionales del contenido debe adaptarse a los requerimientos de los entregables y finalmente La persona responsable de la coordinación evaluará y verificará el cumplimiento de la calidad mínima de las especificaciones de desarrollo gráfico.

9.2.7 NIVEL DE INFORMACIÓN

El nivel de información o LEVEL OF INFORMATION (LOI), define la complejidad de información no grafica de los elementos en cada etapa del proyecto, por otra parte, para esta especificación esta enunciada pero no especificada en el protocolo del reino unido (UK BIM Technology Protocol), lo cual hace un poco más difícil encontrar un documento formal como la especificación norteamericana LEVEL OF DEVELOPMENT, pero se puede utilizar opciones como la plataforma digital Nbs Toolkit que esta auditada por el reino unido.

Para efectos de este documento, el primer criterio que se recomienda es la propuesta por la (Corporación del gobierno de Chile Fomento de la producción) que tiene como objetivo la implementación de BIM en los proyectos de contratación pública, para incrementar la productividad en la industria de la construcción.

Así como en el desarrollo grafico se plantean seis niveles, en los niveles de información también se plantean seis niveles de información, lo cual ayudara a



estructurar los requerimientos de información que se debe solicitar dependiendo de la naturaleza de los elementos.

Tabla 8. Nivel De Información definido en el Planbim de Chile, basada en G202-2013 AIA y en el nivel de desarrollo de BIM FORUM USA

NIVEL DE INFORMACIÓN (NDI)	DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE INFORMACIÓN
NDI-1 Información inicial general	Información inicial, que puede ser estimativa, acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales.
NDI-2 Información básica aproximada	Información básica del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje.
NDI-3 Información detallada	Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos.
NDI-4 Inf. detallada y coordinada	Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico.
NDI-5 Inf. detallada de la fabricación y el montaje	Información detallada de la fabricación y montaje considerando el tamaño, localización, cantidad, orientación e interacción entre elementos.
NDI-6 Inf. detallada de lo construido y su puesta en marcha	Información detallada del tamaño, localización, cantidad, orientación y de la puesta en marcha de los elementos construidos.

Fuente: Planbim de Chile

Tabla 9. Matriz de objetos y elementos BIM. Tipos definidos por Planbim de Chile

TIPOS DE INFORMACIÓN	GRÁFICO DE TIPO DE ACTIVO	CATEGORÍAS DE INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
TDI_A		INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	Información básica del proyecto como el tipo del edificio o infraestructura, nombre del proyecto, dirección, requerimientos espaciales y programáticos.
TDI_B		PROPIEDADES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS	Información de las características y propiedades físicas de las entidades (anchos, largos, altos, área, volumen, masa...).
TDI_C		PROPIEDADES GEOGRÁFICAS Y DE LOCALIZACIÓN ESPACIAL	Información de las propiedades de ubicación espacial y geográficas de las entidades (latitud, longitud, número y nombre de piso, nombre del espacio o zona y otra información necesaria para el posicionamiento de las entidades).
TDI_D		REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS PARA EL FABRICANTE Y/O CONSTRUCTOR	Información específica para la fabricación y/o construcción (tipo de elemento, materialidad, nombre de sus componentes, identificación del producto...).
TDI_E		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Información de la especificación técnica de la entidad (peso de transporte, nivel de ruido...). En general, aplica para cualquier elemento que sea fabricado industrialmente (equipos de aire, mobiliario...).
TDI_F		REQUERIMIENTOS Y ESTIMACIÓN DE COSTES	Información básica para la estimación del coste total del activo (coste unitario referencial, coste base de ensamblaje, coste de transporte...).
TDI_G		REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS	Información de las características energéticas de los objetos y de los elementos (humedad, valor U, consumo...).
TDI_H		ESTÁNDAR SOSTENIBLE	Información sobre condiciones de sustentabilidad, requerimientos de calidad de iluminación, especificaciones de materiales sostenibles, contenido reciclado...
TDI_I		CONDICIONES DEL SITIO Y MEDIOAMBIENTALES	Información de las características generales del sitio y su entorno (condiciones sísmicas, uso del terreno, de suelo, niveles de riesgo a las personas...).
TDI_J		VALIDACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE PROGRAMA FUNCIONAL	Información clave para realizar una validación del cumplimiento del programa funcional del proyecto (áreas planificadas, áreas acristaladas, volumetría espacial, servicios requeridos...).
TDI_K		CUMPLIMIENTO NORMATIVO	Información que permita revisar el cumplimiento normativo y los requerimientos de seguridad de los ocupantes del proyecto (requerimientos de protección del fuego, de ventilación, anchos de accesos, carga de uso, carga de ocupación, aspectos de seguridad vial, diseño geométrico de vías).
TDI_L		REQUERIMIENTOS DE FASES, SECUENCIA DE TIEMPO Y PLANIFICACIÓN	Información que permita revisar fases, secuencias de tiempo y planificación de áreas o partes de un proyecto (fases, orden de hitos, orden de construcción...).
TDI_M		LOGÍSTICA Y SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN	Información clave para revisar la logística de la construcción y su secuencia (ID material, ID instalación, número de serie del componente instalado...).
TDI_N		ENTREGA PARA LA OPERACIÓN	Información clave para apoyar el funcionamiento de la entrega de la construcción (nombre de las empresas participantes en el proyecto, sus contactos, disciplina, áreas de trabajo...).
TDI_O		GESTIÓN DE ACTIVOS	Información para la gestión del activo (tipos de producto, tipos de repuestos, fecha de inicio y fin de garantías...).

Fuente: Plan bim de chile



El segundo criterio muy aplicable para el desarrollo de la información en la infraestructura vial es el propuesto por la guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal del gobierno de España, tiene como característica la adopción de parámetros de la ISO 19650 lo que le permite ser compatible con formatos OpenBIM IFC. Para este enfoque los niveles de información (LOI) no se desarrolla en una escala como lo hace LOD, son la agrupación de las propiedades de los elementos debidamente estandarizados para garantizar:

- La capacidad de segregación selectiva de todos los elementos constitutivos de los modelos para los diferentes usos BIM requeridos.
- La trazabilidad de las mediciones provenientes de los elementos incluidos en los modelos.
- La estrategia de centralización integral de los proyectos basada en los modelos BIM.
- La óptima y automatizada transmisión de información de los modelos AsBuilt para la gestión de su mantenimiento.

Este sistema permite un alto grado de versatilidad y replicabilidad de tácticas de revisión y control de la información en un proyecto de infraestructura, y los criterios mínimos de gestión de información se recomiendan seguir de la siguiente manera:

En primer lugar, se denominará el conjunto de propiedades (atributos) que se asigna a los elementos de un modelo, se le llama set de propiedades.

Dependiendo de la fase del ciclo de vida del del proyecto, se usará uno o varios sets encada elemento.

Para todos los elementos que contengan un modelo BIM, será obligatorio los sets de propiedades con el fin de que sean auditados de forma ágil y efectiva en los procesos de evaluación.

Para finalizar vale la pena recordar que independiente del criterio de desarrollo gráfico y no grafico que se escoja, deberá estar especificado y consensuado con el equipo de trabajo y especificado el plan de ejecución BIM.

Tabla 10. Set de propiedades

Identificación del parámetro	Tipo	Valor posible
01_ Identificación		
01_01_ Proyecto	texto	Código de proyecto.
01_02_ Localizador	texto	Código de localización del elemento (zona).
01_03_ Estado	texto	Existente, Proyecto Básico, Proyecto Constructivo, Obra.
01_04_ Clasificación	texto	Código Clasificación de elemento (Puertos, guBIMClass, etc.).
01_05_ Tipología	texto	Código de tipología de modelo según Guía BIM.
01_06_ Disciplina	texto	Código de disciplina según Guía BIM.
01_07_ Subdisciplina	texto	Código de subdisciplina según Guía BIM.
01_08_ Material	texto	Código material del elemento.
02_ Cantidades		
02_01_ Unidad	ud.	Valor.
02_02_ Longitud	m	Valor.
02_03_ Espesor	m	Valor.
02_04_ Área	m ²	Valor.
02_05_ Volumen	m ³	Valor.
03_ Proyecto		
03_01_ Fase Obra	texto	Código de la fase de obra a la que hace referencia el elemento.
03_02_ Planos	url*	URL a la ubicación en el CDE de los planos.
03_03_ PPTP	url*	URL a la ubicación en el CDE de los PPTP.



Identificación del parámetro	Tipo	Valor posible
03_04_01_Ud Medición 01	texto	Código de la unidad de obra I a la que hace referencia el elemento.
03_04_02_Ud Medición 02	texto	Código de la unidad de obra II a la que hace referencia el elemento (si la hubiese).
03_04_03_Ud Medición 03	texto	Código de la unidad de obra III a la que hace referencia el elemento (si la hubiese).
04_ Obra		
04_01_ Controles de Calidad	url*	URL a la ubicación en el CDE de los controles de calidad.
04_02_ Fotografías	url*	URL a la ubicación en el CDE de las fotografías.
04_03_ Seguridad y Salud	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de Seguridad y Salud.
04_04_ Informes de Aprobación	url*	URL a la ubicación en el CDE de los Informes de Aprobación.
04_05_ Certificaciones	url*	URL a la ubicación en el CDE de las certificaciones.
04_06_ Planos As Built	url*	URL a la ubicación en el CDE de los planos As Built.
04_07_ Medio Ambiente	url*	URL a la ubicación en el CDE de documentación.
05_ EOM		
05_01_01_Cod Mantenimiento	texto	Código del inventario de mantenimiento.
05_01_02_Aux Mantenimiento	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de mantenimiento.
05_02_01_Cod Explotación	texto	Código del inventario de explotación.
05_02_02_Aux Explotación	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de explotación.
05_03_01_Cod Contable	texto	Código de inventario contable.
05_03_02_Aux Contable	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información contable.

Tomado de la Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal del gobierno de España.



9.2.8 USOS DEL MODELO BIM

Partiendo de la definición de ((Euskal Trenbide Sarea), 2020), nos dice que “cualquier aplicación que se le dé a los modelos BIM, donde este pueda alcanzar uno o más objetivos específicos durante un proyecto, se denomina un uso BIM” por lo cual, los modelos BIM brinda un abanico de posibilidades que son muy aplicables a los retos que se presentan a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura vial.

Lo anterior nos da a entender que, los usos BIM que se utilizarán, dependerán de los objetivos contractuales, técnicos y no técnicos del proyecto, lo que a su vez definirá los alcances y objetivos de los modelos. Se debe agregar que, no valdría de nada el gran beneficio de los modelos, si los miembros del equipo no tienen en claro el uso futuro de la información que van a desarrollar, como por ejemplo, si el proyecto se encuentra en una etapa final de diseño, en el cual se quiere extraer información detalla para la fabricación de un elementos, se puede modelar un box culvert teniendo en cuenta las el desarrollo LOD y LOI apropiado para la visualización y extracción de la información necesaria para su construcción.

Para en la infraestructura vial los usos BIM más comunes que se encuentra a nivel internacional son muy similares a los presentados para edificaciones, ya que también en la infraestructura se cuenta con un equipo interdisciplinar que maneja mucha información gráfica y no grafica que debe ser válida entre sí por esta razón es que se tiene muchos usos en común, A continuación se propone usos muy propios de la infraestutura vial y otras presentadas por guias como (*BIM project execution planning guide, version 3.0*) de la universidad de Pensilvania y (BuildingSMART, 2012), por otra parte, el equipo de trabajo debe priorizar los Usos BIM que requieran los modelos dependiendo de los diferentes criterios nombrados en esta guía. Y por último Estos Usos deben ir de la mano a los objetivos pactados en el plan de ejecución BIM.



ETAPA DENTRO DEL CICLO DE VIDA	USO BIM
DISEÑOS	Condiciones existentes de modelo
	Estimación de costos
	Programación de obra
	Diseño geométrico
	Coordinación 3D
	Autoría de Diseño
	Análisis energético
	Análisis estructural
	Análisis de iluminación
	Análisis mecánico
	Análisis de riesgos
	Análisis de diferentes alternativas
	Análisis hidrológico
	Análisis hidráulico
	Validación de códigos
	Coordinación 3D
	Planificación Layout
	Diseño del sistema de construcción
	Fabricación digital
	3D Control y verificación
	Planos récord
	Mantenimiento y operación
	Análisis de la vía
	Gestión de activos
	Mantenimiento de espacios
	Planificación ante desastres
CONSTRUCCIÓN	Control de obra
	Modelos récord
	Gestión ambiental
	Gestión predial
	Gestión social
	Aplicaciones de realidad virtual y aumentada
OPERACIÓN	Gestión de activos
	Análisis del tráfico
	Gestión del mantenimiento
	Evaluación de sustentabilidad
	Análisis económicos y financieros

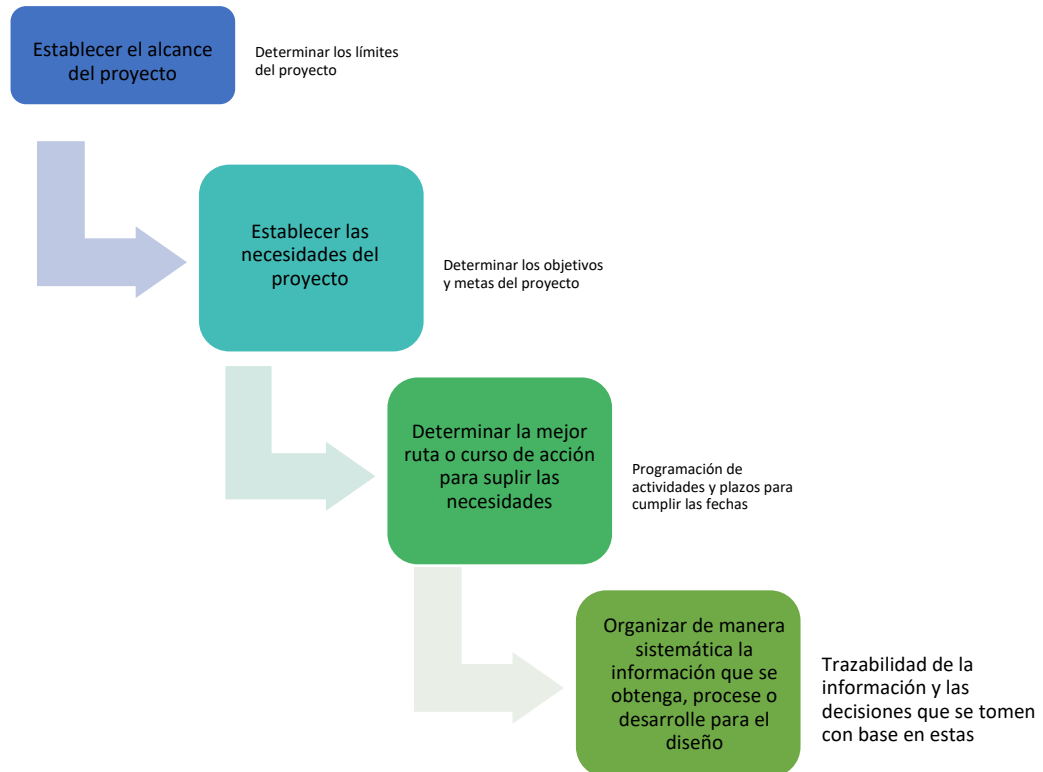


9.4 ENTORNO DE TRABAJO COLABORATIVO

9.4.1 BASE DE DATOS

Todo proyecto que se desee realizar con base en la metodología RIM, requiere de una base de datos estructurada, en ella podrá ser almacenada toda la información del proyecto, esta debe ser organizada rigurosamente a fin de permitir su consulta y visualización de la manera más ágil y practica posible.

Para realizar la construcción de la base de datos debemos tener en cuenta los siguientes;



Existen diversas formas de almacenar la información para un proyecto, tradicionalmente se usan maneras secuenciadas, donde el ingreso de información se realiza progresivamente a medida de su obtención. Además, la misma puede o



no ser almacenada en un servidor local, dónde se comparte o no la información con otros colaboradores.

También existen otras alternativas como los servicios de almacenamiento en la nube, funcionando como las mismas bases de datos, pero con la mejora de permitir el acceso desde cualquier lugar del mundo siempre que se tenga conexión a Internet.

No obstante, estos sistemas no dejan de ser simples bases de información con accesos garantizados, sin trazabilidad sobre la información que se carga o comparte y altamente vulnerables a pérdidas de información, desorganización, hurto y baja fiabilidad en su contenido.

Para aplicar la metodología BIM, se requiere centralizar la información del proyecto en un compendio completo y ordenado de toda la información que se obtiene y procesa por todos los interesados. Además, se deben garantizar los siguientes

- Acceso jerárquico a la información
- Trazabilidad de los documentos cargados, editados y eliminados
- Plataforma de aprobaciones y confirmaciones
- Acceso garantizado desde múltiples plataformas de software y hardware
- Verificación de versiones
- Entrelazamiento de diseños, presupuestos, planificación
- Plataforma de observaciones, notas y ediciones sobre documentos
- Visualización documental
- Visualización de modelos 1 a 7D

✓ **Elaboración de informes periódicos**

La elaboración de informes periódicos, que permitan revisar el estado actual de los proyectos, permite realizar la toma de decisiones en el tiempo justo para obtener un



resultado real. Por lo cual la automatización en la generación de indicadores, gráficos y post-procesos de información, permitirá reencausar los proyectos a la medida de lo posible, reduciendo riesgos y evitando sobre costos.

✓ **Medición de rendimientos, errores y soluciones**

Un factor fundamental para el correcto desarrollo de un proyecto, es la implementación de los rendimientos teóricos a la situación real del proyecto, pudiendo aumentar o disminuir el esfuerzo y la inversión, para obtener siempre el mayor beneficio sin afectar la calidad o los tiempos previstos.

Lo anterior conducirá a la mitigación de errores humanos, tiempos muertos y encontrar soluciones sencillas que beneficien al correcto desarrollo de los proyectos.

✓ **Cronograma de actividades**

Habiendo consensuado la evolución del proyecto entre todos los implicados, será más sencillo crear la secuencia de actividades necesarias para su consecución, ajustando los tiempos, aminorando los factores externos que aumenten los tiempos del proyecto y eliminando posibles errores en los reprocesos que, de no llevar un orden cronológico afectaran sustancialmente la terminación del proyecto.

✓ **Auditoría de la información**

Las auditorías son fundamentales para el redireccionamiento de los proyectos, evaluar sus capacidades de auto regulación y respuesta ante eventualidades, además de medir internamente la correcta toma de decisiones y presentar alternativas a los procesos, no obstante, las limitantes entre los tiempos de muestreo, análisis y verificación de la información retrasan y consumen tiempos que bien podrían ser aprovechados en optimizar los proyectos.

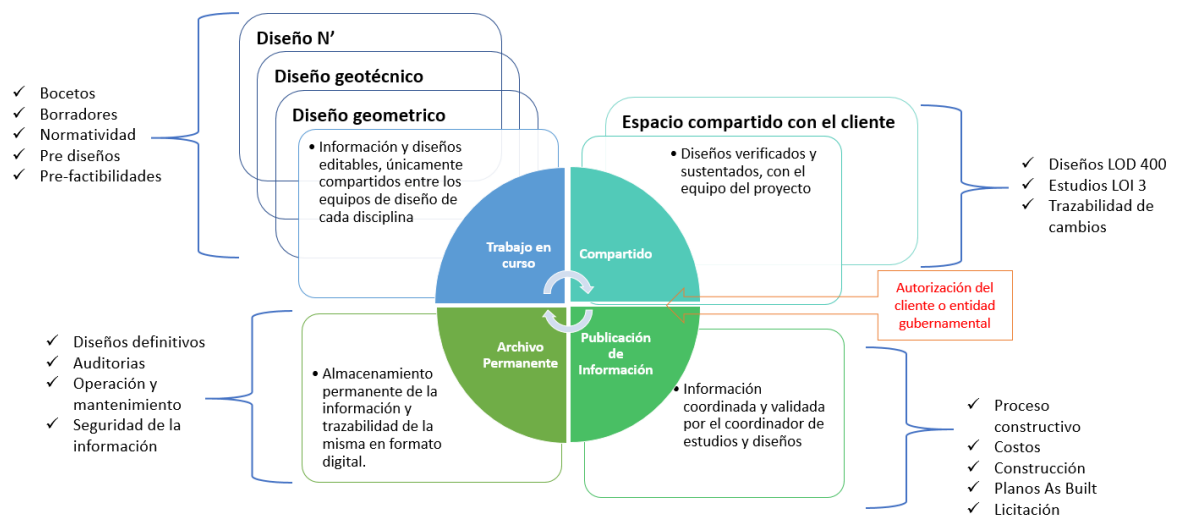
La verificación de información en tiempo real, la trazabilidad de los procesos y automatización de los mismos, conllevaran a la reducción de costes y eliminación de tiempos muertos en lo que el proyecto deba ser evaluado por un tercero.

Cabe aclarar que cualquier mejora que pueda tener la base de datos, deberá apuntar a la mejora continua, correcto manejo de la información y los objetivos de la metodología RIM.

9.4.2 COMMON DATA ENVIRONMENT (CDE)

El CDE se basa en la necesidad de la metodología BIM donde la “...información y el intercambio de datos deben gestionarse de forma estructurada y segura, y esto requiere la utilización de un espacio digital común abierto al que pueden acceder todos los miembros de un equipo de trabajo para compartir información de un proyecto...” (Eseverri, 2020), existiendo la necesidad de una plataforma que enlace y permita realizar lo anteriormente descrito.

Ilustración 20. CDE Para proyectos viales



Fuente: Modificado de Principios de CDE



En la Ilustración 20, se muestra el proceso adaptado de CDE, que debe llevarse a cabo en todo proyecto donde se desee aplicar la metodología RIM. Siendo el compartir la información, centralización y almacenamiento los ejes fundamentales para desarrollar RIM.

Tipos de software RIM

Existen diferentes casas de software en el mundo que se encuentran desarrollando programas constantemente y apuntando a la metodología BIM, siendo la principal preocupación el permitir acceso a los diseños e información de la manera más simplificada posible.

Para lo anterior se han desarrollado diferentes tipos de formatos y complementos que faciliten la transición de los estudios y diseños entre diferentes softwares. Entre ellos están todos aquellos directamente relacionados como el dwg para archivos CAD, el xml para archivos de Civil3D, RVT para archivos revit y entre ellos el más utilizado IFC.

El IFC "...es un formato de datos que tiene como finalidad permitir el intercambio de un modelo informativo sin la pérdida o la distorsión de datos o informaciones..." (Accasoftware, 2019) siendo así internacionalmente aceptado por buildingSMART International.

Una de las casas principales a nivel nacional e internacional es Autodesk, quienes hasta la fecha cuentan con diferentes softwares para la implementación de la metodología RIM, su principal limitante en el mercado local es el alto costo de sus licencias para empresas pequeñas, medianas y grandes. Sin embargo, existen diferentes alternativas en el mercado, que teniendo una base mucho más sencilla y un costo asociado menor. Permiten desarrollar en su totalidad los desafíos para la metodología RIM.



También se requiere de una plataforma que permita el intercambio de información, comunicaciones instantáneas, almacenamiento de archivos, diseños, visualización de modelos, comentarios sobre estudios y diseños además de su debida trazabilidad.

A continuación, se enlistan algunas de las posibles plataformas que pueden ser usadas para el desarrollo de la metodología RIM, algunas de ellas cuentan con soporte nacional o se encuentran en proceso de ubicación.

- Plannerly
- BIMTrack
- Autodesk Construction Cloud
- Procore
- Wizzcad
- Plan to Build
- iTWO costX
- Plan Radar

Cada plataforma se encuentra especializada en algún área para los proyectos constructivos, ahora bien. El enfoque del presente documento no pretende apoyar, publicitar o desestimar cualquiera de ellos y todos aquellos que no se encuentren mencionados.

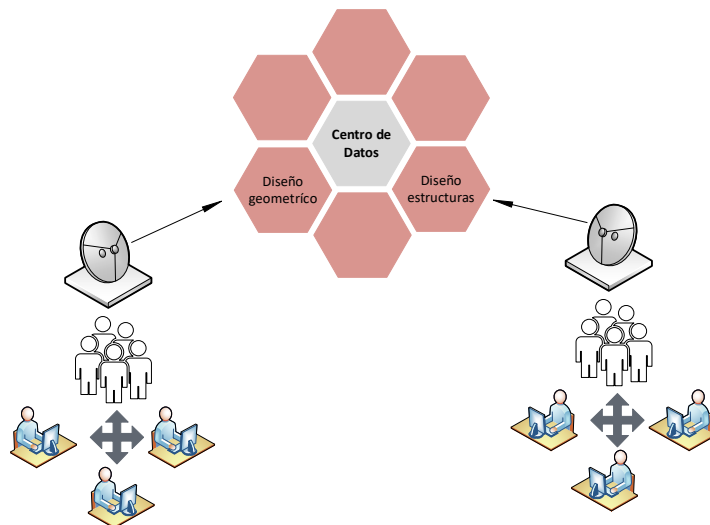
Más si se recomienda, revisar las utilidades, facilidades para poder adquirirlas, esto también dependerá del presupuesto y tamaño del proyecto que se desee desarrollar. De ser una empresa que ya cuente con alguna plataforma de trabajo colaborativo, deberá buscar la más beneficiosa y que permita una transición a los nuevos modelos de gestión de la información.



9.5 TRABAJO COLABORATIVO

Uno de los pilares más importantes de la metodología bim es el trabajo colaborativo, el cual tiene como principal objetivo de vincular de forma efectiva a los diferentes agentes o profesionales implicados en cada uno de los procesos técnicos y administrativos. Además de gestionar la información generada en el desarrollo del proyecto, con la ayuda o coordinación del plan de ejecución bim, en donde se establecen las normas y reglas del proceso colaborativo, que más adelante se explica los principales criterios para la redacción e implantación.

Habría que decir también, que todos estos procesos, son posibles gracias a un entorno común, de manera que permita el intercambio de datos de forma ordenada, clasificada y transparente, a través de un espacio virtual en donde se centralice todos los archivos que a su vez estará enlazado a una base estructurada. Ofreciendo seguridad ante la pérdida de información, brindando la posibilidad de que todos los equipos del proyecto puedan trabajar a la vez, independientemente de su ubicación.



Fuente: Elaboración propia



Es necesario aclarar que, dentro del entorno de trabajo colaborativo, cada uno de los profesionales responsables de un rol en específico dentro del desarrollo del proyecto, como por ejemplo el ingeniero de diseño geométrico, geotecnia, abogados, sociales, etc. tendrá una serie de permisos y restricciones, para consulta y edición de la información contenida dentro de la base de datos estructura, estos permisos estarán definidos dependiendo del perfil, cargo y responsabilidad de cada profesional.

Lo dicho en el párrafo anterior, contextualiza un poco del entorno de trabajo colaborativo en donde se va a desarrollar un proyecto vial, para más detalles de la base de datos estructurada se dispuso de un capítulo entero denominado entorno de trabajo colaborativo, en donde se explicará detalladamente el flujo de la información, perfiles de usuario y las zonas de colaboración como la detención de conflictos, accesibilidad de datos y etc.

9.5.1 FLUJO DE INFORMACIÓN

La experiencia que ha dejado los proyectos de infraestructura vial ha enseñado que el volumen de información que se genera es muy alto, al igual de los stakeholder que la consultan, por esta razón, es muy importante prestar atención al manejo correcto de la información y evitar la pérdida de valor y de confianza o, en otras palabras, prevenir reprocesos por trabajar con versiones desactualizadas, confusiones y pérdida de la misma información.

Es fundamental entender que para la metodología BIM la comunicación es uno de sus ejes fundamentales por lo cual la información se debe estructurar y estandarizar para su manejo adecuado y debe estar definido en un plan de ejecución BIM. Una de las propuestas más innovadoras de la metodología BIM es la adopción de un

entorno de trabajo colaborativo, como se ha explicado anteriormente, es la clave para desarrollar una estructura coherente y funcional del flujo de la información.

Con los retos que afronta la ingeniería actualmente, se hace fundamental para el flujo efectivo de la información que estos entornos de trabajo colaborativo estén establecidos en la nube, para almacenar, gestionar y compartir información digital con el equipo de trabajo y las personas involucradas del proyecto sin importar en el lugar donde se encuentren.

Una referencia muy importante a nivel internacional es la norma ISO 19650 y propone cuatro etapas básicas por las cuales debe transcurrir la información en el proceso del trabajo colaborativo y son: información en progreso, información compartida, información publicada, información archivada.

La información en progreso hace referencia a la documentación de carácter privado que se encuentra en desarrollo como borradores, archivos temporales y de cálculo que se encuentra sincronizada para que los diferentes actores en el proceso de trabajo colaborativo tengan acceso oportuno.



Fuente: Elaboración propia



La información compartida es toda aquella documentación a la que puede acceder un número más amplio de personas, para hacer las bases de repositorio en donde este toda la información base para el desarrollo del proyecto, esta información también puede ser utilizada para algunos de los especialistas que todavía se encuentran en proceso de desarrollo de más información, es importante resaltar que, el control de acceso a esta información no necesita ser tan estricta, pero si debe de mantener organizada y estructurada conforme con se halla establecido en el plan de ejecución BIM para que garantice la fácil consulta por parte de todos los integrantes del equipo de trabajo.

La información publicada es principalmente de intercambio únicamente entre todos los actores implicados directamente en el proyecto, es información con un grado de desarrollo lo suficiente para estar disponible en otro proceso, también debe estar organizada de tal manera que guarde la estructura de la demás información o que este establecida en el plan de ejecución BIM y además que pueda ser clasificada como información aprobada o rechazada con sus debidos comentarios conforme a las dinámicas de trabajo que se están dando.

La información archivada pertenece a toda aquella que ha nacido a causa del proceso de aprobación y se considera como información terminada o para entrega final. Esta información servirá para las etapas del ciclo de vida del activo que lo suceda, además estará publicada clasificadamente dependiendo del público al que este dirigido y para finalizar esta información debe tener copias de respaldo, estar en la nube y cumplir con los requisitos del plan de ejecución BIM que se haya acordado.



9.5.2 ROLES BIM

Con la incorporación de la metodología BIM en el ciclo de vida de proyectos de infraestructura vial, los profesionales que componen el equipo de trabajo tienen que incrementar su capacidad de trabajo en entornos digitales y estar alineados con los nuevos requerimientos y disposición de desarrollar sus funciones actuales de trabajo en ambientes BIM, de manera que se necesita definir nuevos roles y responsabilidades en el proceso de revisión y auditoria en el proceso de trabajo colaborativo.

A través de la investigación que se ha hecho para este trabajo, se han analizado diferentes propuestas a nivel internacional como (AEC (UK) BIM technology protocol practical implementation of BIM for the UK architectural, engineering and construction (AEC) industry) del reino unido, ((Euskal Trenbide Sarea), 2020) de la región Vasca española, (Dutch construction and infrastructure industry) de los países bajos, (Planbim.) del gobierno de chile y entre otros. Se inicio englobando el concepto de rol BIM tomando lo mejor cada documento y se encontró que el planBim chile cumple con las espectabais de definir y caracterizar el rol BIM teniendo en cuenta las propuestas internacionales y llevándolas al plano latinoamericano. A continuación, es expondrá este criterio de roles BIM, que se considera mas recomendable y aplicable a la infraestructura vial

Un rol BIM es según (Planbim.) “ la Función que se ejerce en alguna etapa del desarrollo y operación de proyectos de edificaciones o infraestructura, en base a capacidades BIM que se suman a otras no BIM” lo que da a entender que el rol BIM no es una nueva disciplina ni tampoco un cago sino responsabilidades sobre determinadas acciones, lo que da facultad a un profesional del equipo de trabajo existente ejercerlo al momento de capacitarse, por otra una persona pueda ejercer uno o más roles o por el contrario dependiendo de la complejidad del proyecto un



rol puede ser ejercido por una más personas, otra premisa muy importante es que los roles deben ser desempeñados durante el ciclo de vida del proyecto.

Según (Planbim) Chile define cinco roles fundamentales, nombrados de acuerdo con sus responsabilidades que asumiría cada uno de ellos, como la experiencia o conocimientos previos que debe tener una persona y son los siguientes.

1. DIRECCIÓN RIM

Lidera y promueve la implementación de BIM en una organización, teniendo en cuenta las necesidades y objetivos propuestos en los proyectos dependiendo de la etapa de vida en que se encuentre (diseño (F1, F2, F3), construcción y operación).

Experiencia recomendada: Gestión estratégica de proyectos. Liderazgo. Dirección de Equipos

2. REVISIÓN RIM

Verifica y visualiza la información (datos y geometría 2D y 3D) de los modelos desarrollados en RIM.

Experiencia recomendada: Conocimiento técnicos, profesionales y normativos del tipo de proyecto, especialidad a revisar. Como fiscalización, validación, auditoría y control.

3. MODELACIÓN RIM

Desarrolla modelos RIM según la especialidad en que se desempeñe, tiene la capacidad de extraer documentación técnica. Domina el intercambio de la información en diferentes formatos. Crea y usa los diferentes elementos o componentes que integran el modelo.



Experiencia recomendada: Conocimiento y competencias en los requerimientos técnicos y normativos de especialidad del modelo.

4. COORDINACIÓN RIM

Lidera el proceso de unificación y flujo de la información desarrollada por los integrantes del equipo de trabajo. Valida e integra modelos de distintas especialidades, detecta conflictos y propone soluciones. Trabaja colaborativamente con los especialistas para generar de mejor forma la información y garantizar la correcta modelación. programa reuniones de coordinación entre las disciplinas, estructura el entorno de colaboración de modelado.

Mantiene la modelación actualizada y optimizada. Y es el intermediario principal con los modeladores del proyecto.

Experiencia recomendada: Conocimiento y competencias en los requerimientos técnicos y normativos de especialidad en coordinación de proyectos y liderazgo en organizaciones.

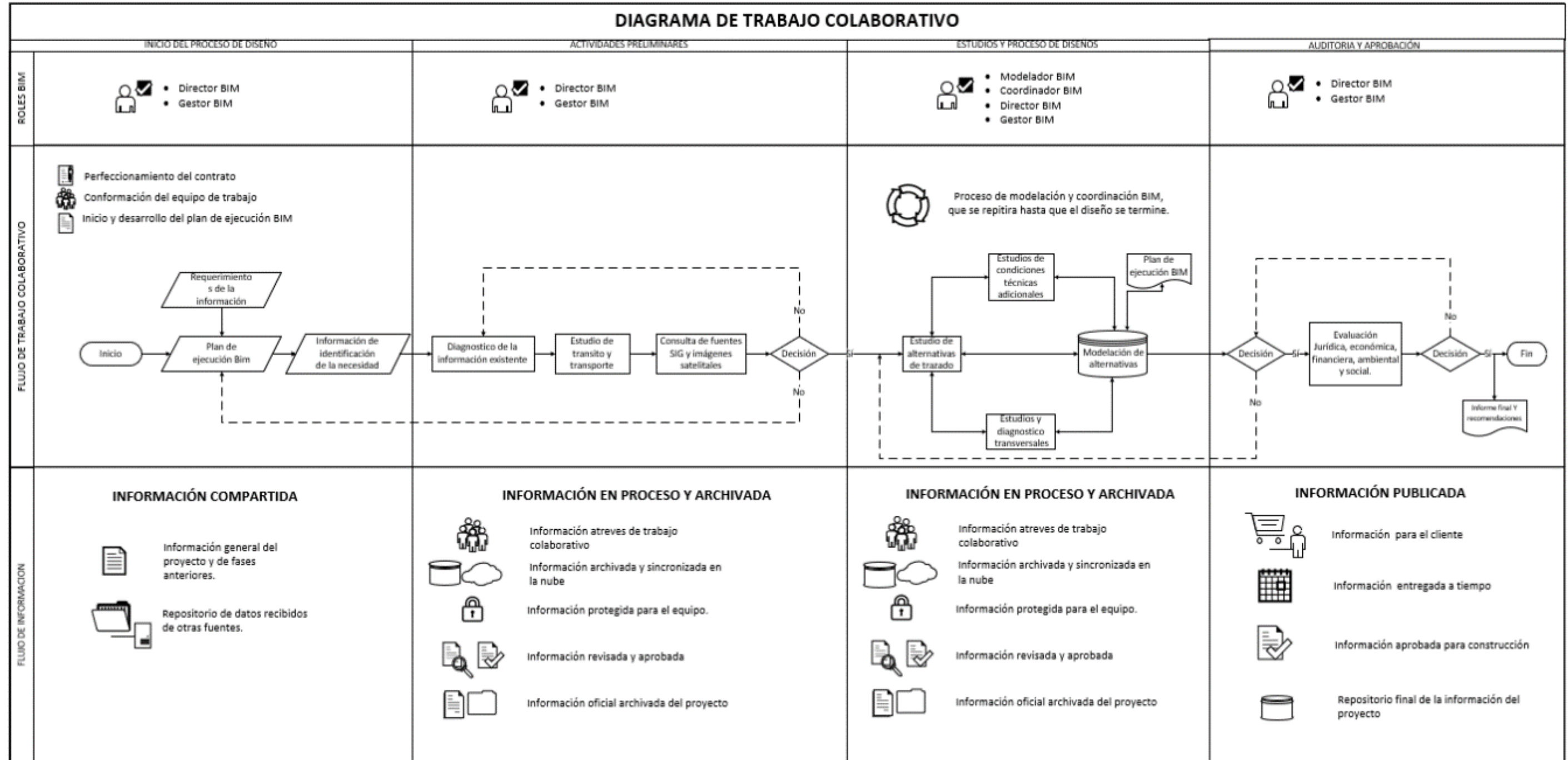
5. GESTÓR RIM

Es el que lidera la planificación y la administración de los recursos humanos y tecnológicos para la implementación de BIM en la organización o proyecto. Es el encargado de definir el entorno de colaboración, secuencia de trabajo colaborativo, las herramientas BIM a utilizar, los protocolos de información en otras palabras el encargado de desarrollar el plan de implementación BIM del proyecto.

Experiencia recomienda: con habilidades en liderazgo, estandarización, optimización, procesos tecnológicos, y administración de proyectos.

9.5.3 MAPA DE PROCESOS Y SECUENCIA DE TRABAJO COLABORATIVO

A continuación, se presentará el mapa de procesos de trabajo colaborativo para un para un proyecto de infraestructura vial En Colombia.





9.5.4 PLAN DE EJECUCIÓN BIM

El plan de ejecución RIM, es un documento integral que permite a los diferentes profesionales conocer requerimientos técnicos, sociales, económicos y jurídicos del proyecto. Así mismo, allí se encuentran estructurados los procesos del trabajo colaborativo, como, por ejemplo: la definición de los equipos de trabajo, hitos del proyecto, requerimientos del modelado, las herramientas RIM, nomenclatura y formato de los archivos, detención de interferencias, seguimiento del proceso, control de costos y entre otras actividades necesarias en el desarrollo de un proyecto vial.

Hay que mencionar, que las grandes organizaciones a nivel mundial líderes en el desarrollo e implementación Bim, recomiendan que el plan, debe ser el primero en redactarse bajo la responsabilidad del coordinador Bim y supervisión de la gerencia, y una vez estructurado contractualmente, debe estar disponible para todos los profesionales y empresas pertenecientes al equipo de trabajo, con el fin de asegurar el correcto desarrollo y mejora continua del plan.

En conclusión, es un documento primordial para establecer las normas y reglas que interactúan el desarrollo de un proyecto, con el principal objetivo, de que todos los actores implicados, hagan un trabajo coordinado, coherente y optimizado, garantizando el éxito en calidad, tiempo y presupuesto.

A continuación, se propone, los apartados mínimos que debe tener un plan de ejecución Bim. Sin embargo, es necesario aclarar, que estos apartados pueden cambiar y aumentar dependiendo de la naturaleza técnica, económica, jurídica, social y política del proyecto de infraestructura vial.



NOMBRE Y NUMERO DEL PROYECTO

Etapa del Proyecto:

Es importante indicar cual es la etapa del proyecto, ya que este nos enmarca el alcance que va a tener y porque, no en todos los casos se empieza el plan bim con un equipo conformado, y es posible que se comience con una prefactibilidad, en donde los equipos de trabajo se van sumando al tiempo, al que se construye el documento.

Numero de Proyecto:

El proyecto debe de tener una identificación única por medio de un número y se debe construir como lo indica la siguiente tabla, el número debe estar escrito en todos los documentos a realizar como planos, informes, etc.

Etapa	Abreviación	Año	Numero de Proyecto de ese Año	Numero de Proyecto
Fase 1	F1	20	001	F120001
Fase 2	F2	21	002	F221002

Nombre del proyecto:

El nombre deberá corresponder al objeto principal contractual del proyecto y deberá estar en todos los documentos que se generen.

OBJETIVOS

Se deben colocar los objetivos generales y específicos contractuales del proyecto a realizar.

DESTALLES Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este apartado tendrá el nombre del cliente, nombre del proyecto, la ubicación, una descripción corta del proyecto, la duración estimada y el tipo de contrato.

Propietario del proyecto	
Nombre del proyecto	
Ubicación del proyecto	
Descripción del proyecto	
Duración del proyecto	
Tipo de Contrato	

EQUIPO DE TRABAJO

Cada etapa del proyecto tendrá actores diferentes. En la planilla se deberá anotar la responsabilidad sobre el proyecto de cada actor, la empresa para la cual trabaja, nombre completo, correo electrónico y teléfono.



Responsabilidad	Empresa	Nombre	Correo electrónico	Teléfono
Ingeniero geométrico				
BIM Manager				
Ingeniero Estructural				
Ingeniero geotecnia				
Ingeniero de pavimentos				

HITOS DE PROYECTO

Es muy importante que desde la gerencia se establezca fechas claras y coherentes de las actividades del proyecto.

Fase/hito del proyecto	Fecha de inicio estimada	Fecha estimada de finalización
Prediseño		
Diseño conceptual		



Fase/hito del proyecto	Fecha de inicio estimada	Fecha estimada de finalización
Diseño preliminar		
Presupuesto		
Diseño desarrollado		
Diseño detallado		
Presupuestos finales		

HISTORIAL DE DOCUMENTOS

Es importante llevar un control estricto del historial de las modificaciones de cada reunión, donde mínimo este consignado la fecha, responsable del modelo y los comentarios de la modificación.

Revisión	Fecha	Quien Revisó	Comentarios



Revisión	Fecha	Quien Revisó	Comentarios

USOS BIM (DEFINICIÓN DE ELEMENTOS Y FABRICACIÓN DIGITAL)

En esta sección es donde se definen los elementos detalladamente y se determina la información que debe estar en el proceso de modelado como, por ejemplo:

- Bocetos
- Creación de diseños
- Visualización
- Coordinación 3D (detección de conflictos)
- Cantidades y presupuestos
- Fabricación digital
- En este paso se fabrican directamente los elementos, desde un modelo 3D para la creación de ensamblajes del sistema.
- Uso y requisitos del modelo de diseño

En esta sección se deben describir las áreas en las cuales se utilizará BIM y los responsables de generar la información. ya que serán utilizadas para indicar esa área en la planilla de Nivel de Desarrollo (LOD) y (LOI).



Uso de BIM	Partes Responsables (PR)	Abreviación	Prioridad (Alta, Media, Baja)
Visualización		VIZ	
Geometría		ARQ	
Redes		MEP	
Estructural		EST	
Coordinación		COO	
Presupuesto		PR	

Nivel de Desarrollo (LOD)

Este sector explica, en qué etapa es necesario un nivel de desarrollo específico. Cuanto detalle e información necesito para este proyecto. En el capítulo niveles de desarrollo de los modelos (LOMD-Británico), contiene una explicación clara de cada LOD y LOI.

En la tabla de “nivel de desarrollo del Proyecto” se determina la información que necesita estar en el modelo en cada proceso del proyecto.



Entregar de elemento	Esquema (E)		Diseño conceptual		Diseño detalle		Notas
Elemento modelo	PR	LOD/LOI	PR	LOD	PR	LOD/LOI	
Trazado	geom						
Estructura de pavimento	pav						
Box culvert	Hidra	4/6	EST	200	EST	300	

9.5.5 ROLES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN RIM

- ✓ **PROJECT MANAGER**
- ✓ **COORDINADOR RIM MANAGER**

Acá es donde se define los procesos de coordinación para cada responsable del proyecto y son las siguientes:

Es importante seleccionar a un equipo de trabajo que se haga responsable de gestionar la detención de conflictos de forma exhaustiva, para que todas las interferencias importantes entre los elementos queden resueltas antes de la construcción final del modelo.

El coordinador BIM del proyecto, deberá coordinar y convocar las reuniones en donde se resuelvan las dudas que surjan durante el proceso del trabajo.

En la primera reunión se debe socializar y asignar a cada equipo de trabajo el plan ejecución BIM.



Es muy recomendable que se programen las reuniones según lo exija el proceso del avance el trabajo, pero como mínimo se debería concordar una por semana.

Aquí es donde se acuerda los formatos de colaboración para la construcción del modelo, y estos formatos deben estar coordinados con el equipo de diseño geométrico antes de cargar la información a la plataforma.

En cada envío o carga de los archivos a la plataforma, se debe asegurar que, la información contenga una breve descripción de los cambios efectuados con respecto al archivo anterior.

El objetivo de la reunión de coordinación RIM, no es la detección de conflictos, lo correcto es publicar el informe de conflictos antes de la reunión, y utilizar el espacio para resolución de los problemas.

- ✓ **ESPECIALISTA RIM**
- ✓ **MODELADOR RIM**

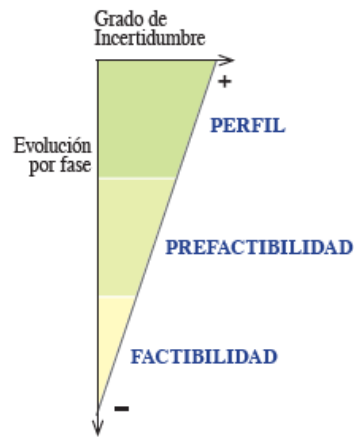
9.6 CICLO DE VIDA DEL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL RIM (CVPIV)

Para todo proyecto de infraestructura vial, se deben cumplir los hitos necesarios para cada etapa de su desarrollo desde su concepción hasta su etapa de operación y mantenimiento.

Es por este motivo que se han desarrollado guías, metodologías y manuales de buenas prácticas para la consecución de los proyectos viales, en concordancia el CONPES Consejo Nacional de Política Económica y Social se encuentra en constante desarrollo de las políticas para el desarrollo de Infraestructuras Viales a nivel nacional en Colombia.



Ilustración 21. Evolución de un Proyecto de Infraestructura Vial

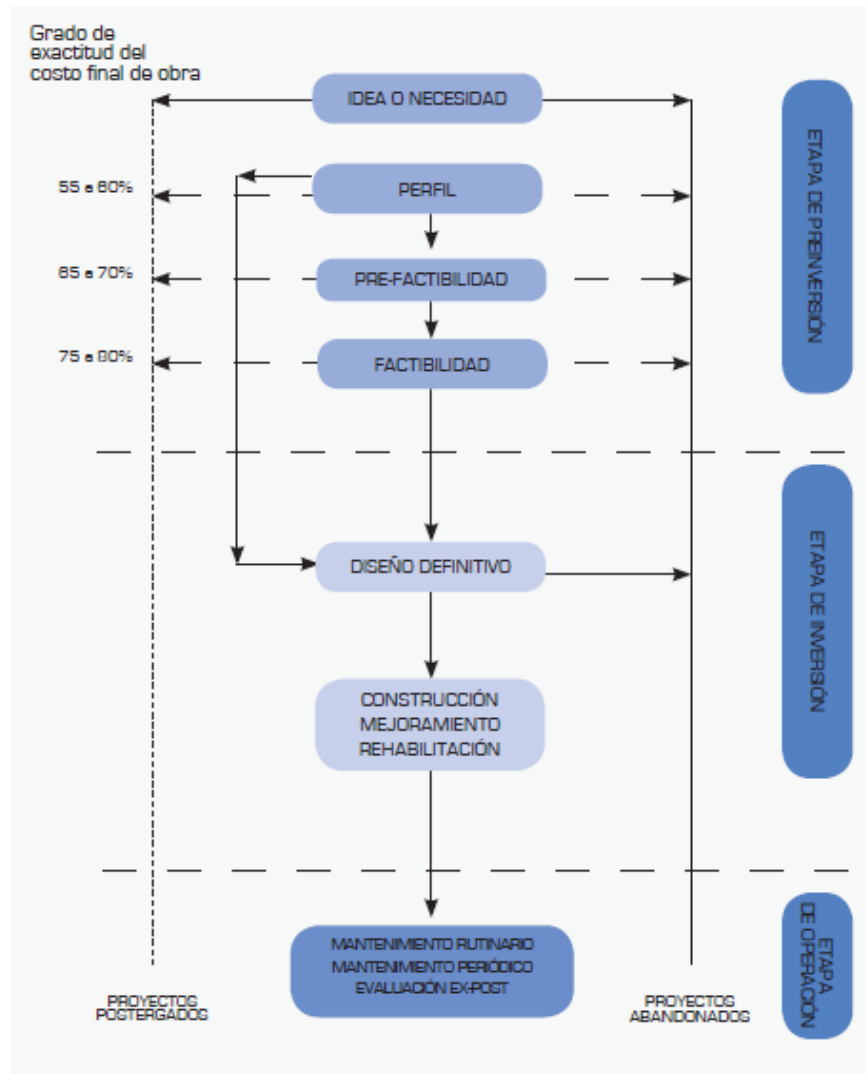


Fuente: (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2012)

En la Ilustración 22 se detalla el ciclo de maduración para un proyecto de infraestructura de transporte, este ha sido desarrollado y evaluado por diferentes entidades como INVIAS y la Cámara Colombiana de la Infraestructura. Se resalta el grado de exactitud para la determinación de los costos de obra, siendo dejado de lado los costos de operación y mantenimiento, entrando al diseño definitivo con un valor de incertidumbre en los costos de obra totales entre un 20 o 25%.



Ilustración 22. Ciclo de maduración de un proyecto de infraestructura de transporte

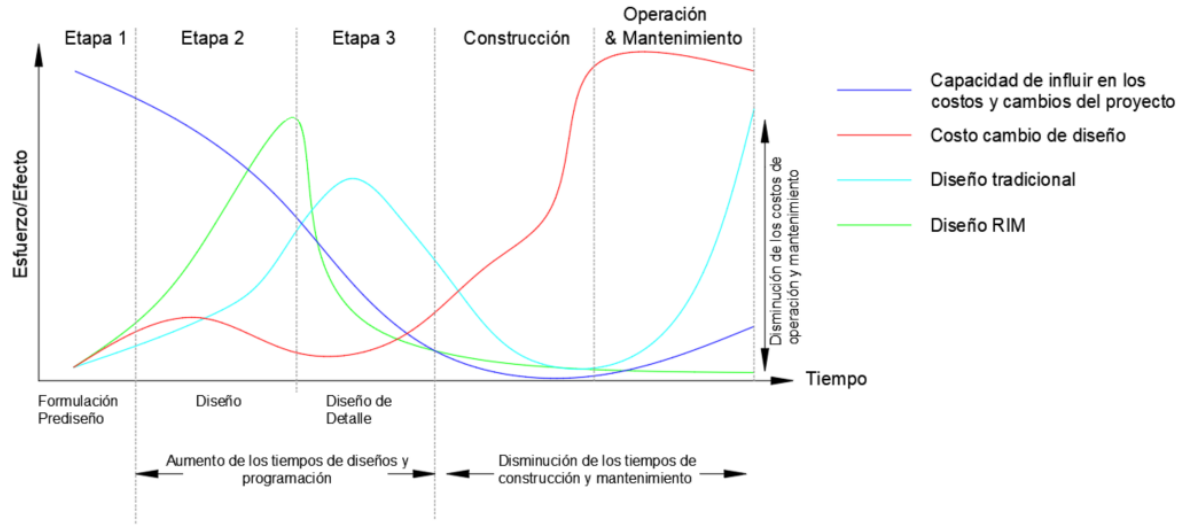


Fuente: (CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA, 2012)

La metodología RIM, busca abarcar todos los ciclos del proyecto y disminuir el grado de incertidumbre y exactitud para la determinación de los costos en la etapa de factibilidad, esto se logra mediante la centralización de la Información, modelación del terreno y modelación de la información recopilada.



Ilustración 23. Curva de proyectos RIM



Fuente: Elaboración propia

9.6.1 ETAPA 1 PREFACTIBILIDAD

Para la elaboración de la prefactibilidad de cualquier proyecto vial en Colombia, se deben tener en cuenta dos pilares fundamentales;

9.6.1.1 Identificación del proyecto

Para poder desarrollar un proyecto de infraestructura vial, en primera instancia se deben determinar las necesidades y problemáticas de las comunidades, siendo la base fundamental para su caracterización los planes de desarrollo económicos y sociales vigentes, estos brindaran una base sustentable y argumentativa para poder identificar las necesidades y desarrollar diferentes alternativas de solución, mitigación o satisfacción a las comunidades.

No obstante, se requieren de estudios adicionales para conocer el grado de necesidad, sus alcances y los sectores de la sociedad afectados debido a la misma. De esta manera se podrán establecer los beneficios que tendrán las comunidades y brindar un análisis preliminar de su conveniencia a las mismas, como bien se



Menciona por el Departamento Nacional de Planeación, (...) es recomendable realizar un diagnóstico multidimensional (económico, sociocultural, ambiental, político y territorial) que permita comprender desde una perspectiva amplia el problema, los elementos que lo conforman, sus relaciones y las dinámicas que lo condicionan (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2012).

9.6.1.2 Formulación del proyecto

Al contar con una plataforma RIM para la formulación de los proyectos, se tendrá una trazabilidad completa desde su concepción, cambios y evolución hasta finalizar cada una de las etapas y en definitiva se podrán evaluar los beneficios e impactos de los proyectos, haciendo más plausible su acometido y permitiendo mejorar los procesos, para evitar y mitigar posibles fallas en los mismos.

La creación del CDE desde las etapas iniciales de los proyectos, permitirá mantener toda la información centralizada sin impedir su correcta evolución, además de facilitar a las entidades interesadas en el mismo evaluar su maduración y utilidad para las comunidades.

Es evidente que este paso debe ser dado por las entidades gubernamentales, para así crear un marco jurídico que permita su implementación en todas las ramas de la infraestructura vial.

9.6.1.3 Alcance del proyecto RIM

Para la elaboración formulación de un proyecto RIM, se requiere inicialmente determinar los alcances del mismo, sus limitantes y obligaciones, se sugiere definir los siguientes:

- Área de afectación
- Boceto inicial de diseño geométrico
- Comunidades aledañas

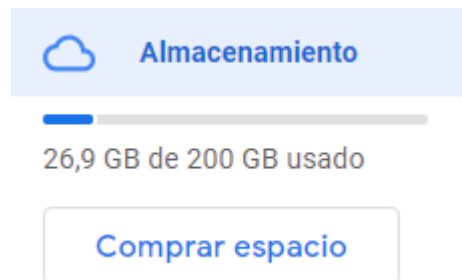
- Información disponible de terceros

Teniendo las anteriores definiciones, se puede estructurar la base de datos, en cualquier plataforma que cumpla las condiciones básicas de la misma.

Para la creación de una base de datos estructurada, se debe comenzar por establecer el marco normativo y jerárquico para comenzar a cargar la información de manera ordenada y que permita su empleabilidad, siendo necesario a nivel de Hardware contar primeramente con un archivo local o en la nube que permita a los usuarios cargar la información recopilada.

Como ejemplo para los fines de esta tesis y sin ánimo de patrocinio a ninguna marca en específico, se adquirió un drive, con un acceso limitado para el cargue de información hasta de 200Gb.

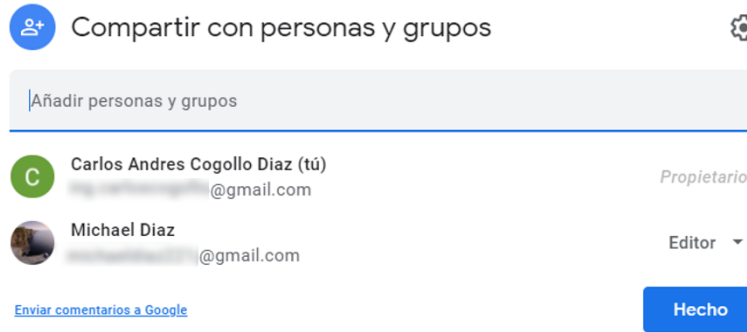
Ilustración 24. Capacidad de almacenamiento Drive



Fuente: Captura de elaboración propia

El drive o como ahora lo denominaremos RIMdrive cumple con los requisitos básicos como base de almacenamiento para documentos, información técnica y diseños que se requieren.

Ilustración 25. Usuarios RIMdrive



Fuente: Captura de elaboración propia

De acuerdo a lo anterior, se dio acceso 2 cuentas de usuario *Ilustración 25* para proceder a la centralización de la información, se utilizó como base normativa la norma ISO 9001:2015, la misma no es de uso obligatorio puesto que no se encuentra reglamentada, pero se espera el uso del sistema de calidad propio de cada empresa u organización para generar los formatos necesarios y llevar el control de cambios y trazabilidad al interior de la base de datos.

Los formatos de control para la información deben ser actualizados constantemente de manera digital, concediendo permisos a los responsables de su diligenciamiento y siempre deben ser controlados por el personal RIM que se escoja para el proyecto.

Se recomienda el uso de plataformas ya desarrolladas como las expuestas en la presente tesis en el subcapítulo 9.4.2 Common Data Environment (CDE), estas plataformas se encuentran diseñadas para facilitar el acceso a toda la información y permitir una jerarquización de visualización y edición sobre la información.

EMPRESA EJEMPLO	TABLA DE RETENCIÓN DE DOCUMENTOS
NOMBRE DE PROYECTO _____	
OFICINA PRODUCTORA	

CÓDIGO	SERIE, SUBSERIE Y TIPOS DOCUMENTALES	RETENCIÓN		DISPOSICIÓN FINAL				OBSERVACIONES
		ARCHIVO DE GESTIÓN	ARCHIVO CENTRAL	CT	E	D	S	

CONVENCIONES			
CT Conservación Total	D Digitalización		
E Eliminación	S Selección		

APROBACIÓN	DD	MM	AAAA
------------	----	----	------

Firma _____
Jefe unidad productora

Firma _____
Coordinador Oficina de Gestión Documental

Se creó una carpeta principal para el almacenamiento de toda la información, la misma fue compartida con ambos usuarios y se asignaron las capacidades a ambos usuarios para hacer uso y edición de la misma.

 Proyecto Ejemplo

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA VIAL

Dentro de la carpeta principal se crearon las siguientes sub-carpetas para comenzar a organizar la información, de acuerdo a la Etapa en la que se encuentra el proyecto, para este ejemplo se denominaron las siguientes;

Tabla 11 Carpetas Ejemplo para el desarrollo RIM

Abreviación	Descripción
PREFAC	Documentación y diseños de la Etapa de Prefactibilidad
FACTIB	Documentación y diseños de la Etapa de Factibilidad
DISDET	Documentación y diseños de la Etapa de Diseños de Detalle
CONSTR	Documentación y diseños de la Etapa de Construcción
OPE&MAN	Documentación y diseños de la Etapa de Operación y Mantenimiento
REGIST	Registro general de la documentación almacenada

Fuente: Elaboración propia

Al interior de las carpetas principales se crearon subcarpetas, estas se nombraron de acuerdo a lo establecido en el capítulo 9.2.7 Niveles de Información, del presente documento.



TDI_A
TDI_B
TDI_C
TDI_D
TDI_E
TDI_F
TDI_G
TDI_H
TDI_I
TDI_J
TDI_K
TDI_L
TDI_M
TDI_N
TDI_O

Se recomienda que los nombres de las carpetas sean lo más corto posible ya que la limitante actual en plataformas como Windows solo permiten rutas de acceso con un máximo de 260 caracteres. Siendo que al superar esta cifra se puede sufrir pérdidas de información al intentar copiar la misma, trasladarla o almacenarla en otra fuente.

En la carpeta REGIST, se almacenará un directorio general que describirá brevemente el contenido de cada carpeta, esto puede evitarse al utilizar plataformas que permitan enlazar y buscar más fácilmente la información almacenada.

9.6.1.4 Definición de roles RIM

Se recomienda definir desde el inicio del proyecto los profesionales que se requieren para el correcto desarrollo de proyectos RIM, estos no deben ser especialistas en el uso y manejo de los Software, pero si se requerirá de un grado de experiencia y experticia en los programas tradicionales de diseño, al igual que de experiencia en los proyectos que se van a desarrollar.

Como bien se recomienda en varias guías BIM, capacitar al personal para el uso de todas las herramientas BIM, para la metodología RIM se requiere especializar a los directos implicados, esto debido al grado de dificultad que tienen los proyectos viales, no solo desde el aspecto técnico, también desde el marco legal, económico, social, ambiental y de sustentabilidad, que hoy es requerido en las 5G.

Es así como se pueden centralizar la información recolectada, para realizar el respectivo análisis de la misma, siempre guardando todos los criterios del CDE y reuniendo toda la información posible para cumplir los requisitos de información básicos para prefactibilidad, de la Cámara Colombiana de la Infraestructura para proyectos viales. Como son;



Estudio de los aspectos generales del entorno socioeconómico:

Debe orientarse a la perspectiva de establecer la magnitud de una necesidad, con el fin de satisfacerla a través del proyecto.

Estudio técnico:

- Definición de las franjas por estudiar a escala mínima de 1:50000.
- Levantamiento fotogramétrico y restituciones de planos, con fotografías aéreas a escala 1:10000.
- Estudio de tránsito actual y planteamiento de modelo de proyección del tráfico futuro.
- Anteproyecto geométrico de la solución.
- Estudios geológicos y geotécnicos con investigaciones a escala 1:100000.
- Estudios hidrológicos, hidráulicos y de drenaje.
- Estudios para el predimensionamiento del pavimento. Se definirá el tipo y prediseño de las estructuras requeridas.
- Con información catastral del IGAC, estructurar a nivel general la distribución predial en escala 1:10000 cada una de las alternativas.
- Análisis ambiental de los corredores.
- Diseño de anteproyecto y/o adopción de planos normalizados, para deducir cantidades de obra de grandes capítulos.

Adicionalmente se recomienda incluir los siguientes;

- Levantamiento con Drones o tecnología LIDAR del terreno en estudio.
- Apoyarse en las bases de datos geográficos gratuitos para obtener una mejor precisión de la geometría del terreno.
- Ortofotos espaciales actualizadas para reconocimiento del terreno, usos del terreno, espacialidad del proyecto y evaluación de impactos.



- Estudio de optimizaciones de diseños para la reducción de impactos, ambientales, sociales, económicos en toda la zona.
- Estudio de alternativas tecnológicas para la optimización de costos en cada una de las etapas.
- Estimación de cantidades para cada una de las alternativas de solución planteadas.
- Revisión de las comunidades de la zona de estudio
- Revisión de

Estudio financiero:

- Estimación de costos unitarios de construcción y mantenimiento.
- Evaluación de los costos globales de inversión en cada alternativa.
- Estimación de los costos globales de mantenimiento en cada alternativa.

Adicionalmente se recomienda incluir los siguientes;

- Optimización de costos en función de las cantidades
- Determinación de riesgos

Evaluación:

- Estimación de los costos del transporte. Se calculan los beneficios debido a la reducción de dichos costos.
- Cuantificación de los beneficios.
- Análisis de los precios sombra para valorar la calidad económica y social de la propuesta.
- Evaluación de los beneficios socioeconómicos en cada solución.
- Análisis económico-financiero.
- Análisis de sensibilidad y/o riesgo.



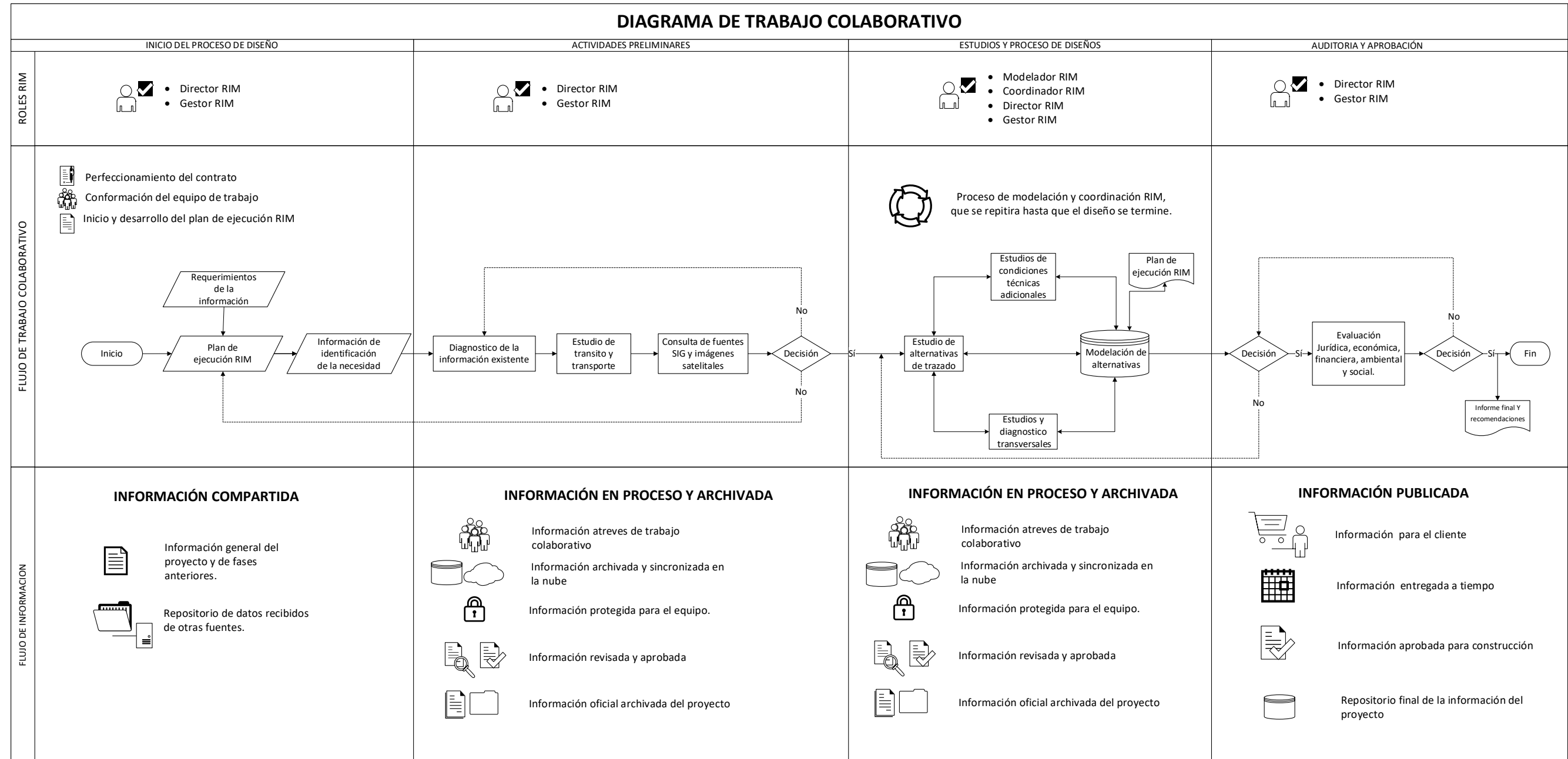
- Selección de la alternativa.

Adicionalmente se recomienda incluir los siguientes;

- Evaluación del costo de implementación de nuevas tecnologías para cada alternativa de construcción y mantenimiento.
- Evaluación de aspectos legales, inherentes al proyecto.

Como lo mencionan Lozano, Patiño, Gómez-Cabrera, & Torres, (2018) “Sería entonces de gran importancia, dedicar el tiempo y la atención necesarios en la etapa inicial de concepción, planeación y diseño de proyectos (...)” (p.142). Por lo cual se recomienda aumentar el esfuerzo e inversión en las etapas de prefactibilidad y factibilidad para el correcto desarrollo de los proyectos viales.

DIAGRAMA DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ETAPA 1 - PREFACTIBILIDAD





9.6.2 ETAPA 2 FACTIBILIDAD

Para comenzar la prefactibilidad del proyecto de Infraestructura Vial, ya se deberá contar con toda la información proveniente de la etapa de prefactibilidad debidamente revisada, almacenada, estructurada y analizada. Esto permitirá obtener diferentes beneficios a lo largo del desarrollo de la factibilidad, tomando como base para todos los aspectos la información anteriormente desarrollada.

Revisión de la CDE (Common Data Environment)

Para comenzar se revisará la información almacenada en el CDE a fin de filtrar toda información que no sea de relevancia para el proyecto como son archivos duplicados, archivos libres dentro de la base de datos y cualquier otro que produzca ruido indiferente a su aplicación.

Se revisará la correcta indexación de la información, para cada una de las especialidades, soportando los cambios que se requieran para la correcta comprensión de los usuarios del ecosistema.

Almacenamiento de la información

Igual que en la Etapa I, se mantendrá una base de datos centralizada con acceso a la información por parte de todos los especialistas involucrados, al igual se generarán copias espejo de toda la información que se trate a fin de mantener un soporte de cambios, con la trazabilidad requerida, esto asegurará el debido enriquecimiento y maduración de la información sin obstruir el flujo de la misma.

Trazabilidad de cambios

Para realizar un correcto seguimiento de los cambios que surtan en la información y diseños, es necesario contar ya sea con una plataforma que facilite las comunicaciones y el intercambio de información, o un registro público que permitirá



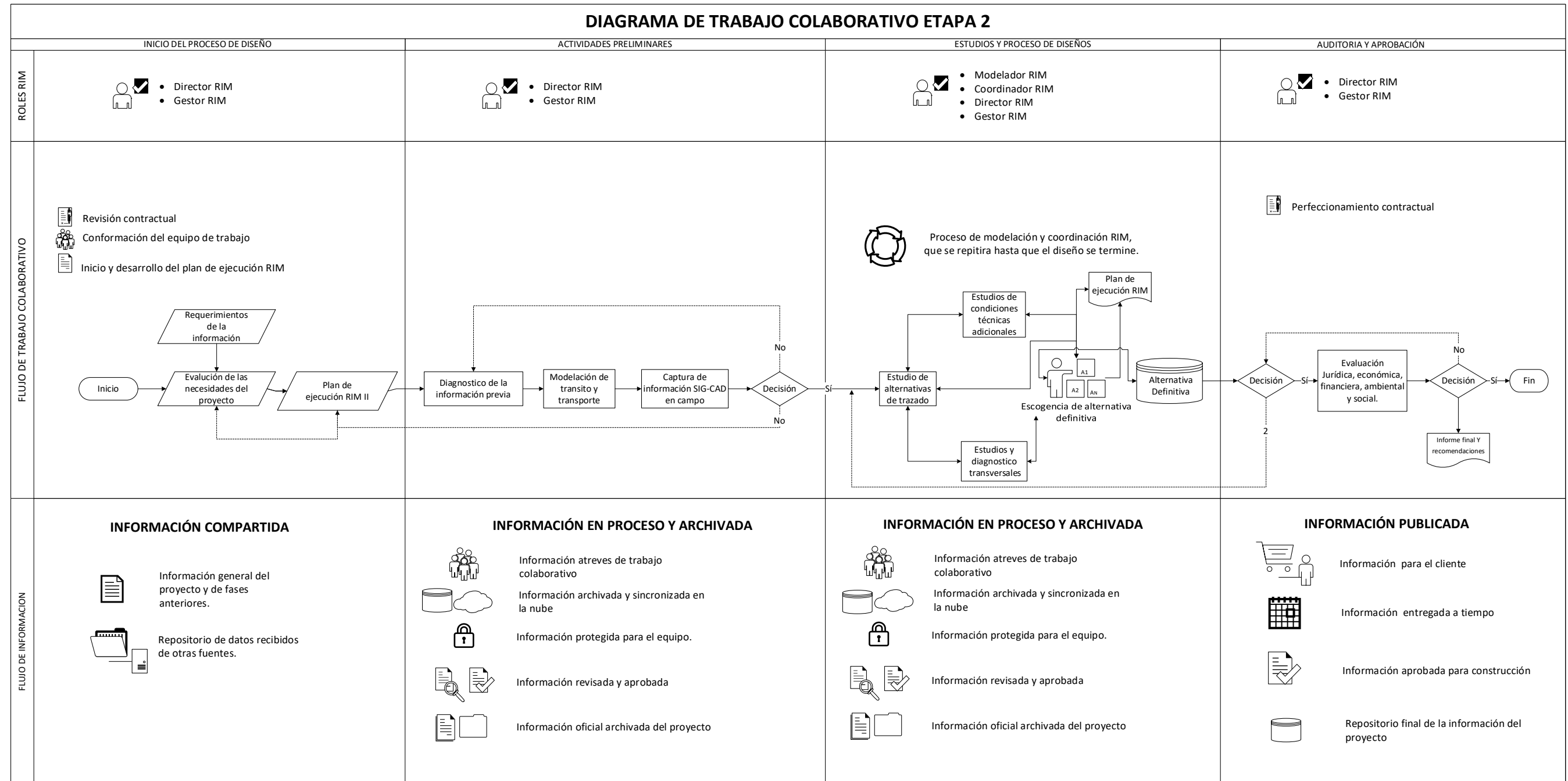
a todos los usuarios registrar e inspeccionar los cambios que se tengan en tiempo real.

Claro está que no se requiere compartir la información una vez surjan cambios menores, está podrá ser almacenada localmente y cargada a la nube una vez se decida su grado de madurez para el proyecto.

Escogencia de alternativa definitiva

El eje fundamental de la Etapa 2, es la escogencia de la alternativa de proyecto definitiva, ya que sobre esta se desarrollarán las siguientes etapas, además de direccionar definitivamente el rumbo del proyecto y dictaminando su factibilidad de realización. Mediante la metodología RIM, se pretende facilitar el procesamiento de la información el flujo de trabajo y dar total trazabilidad a las decisiones tomadas.

DIAGRAMA DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ETAPA 2 - FACTIBILIDAD



9.6.3 ETAPA 3 DISEÑO DEFINITIVO

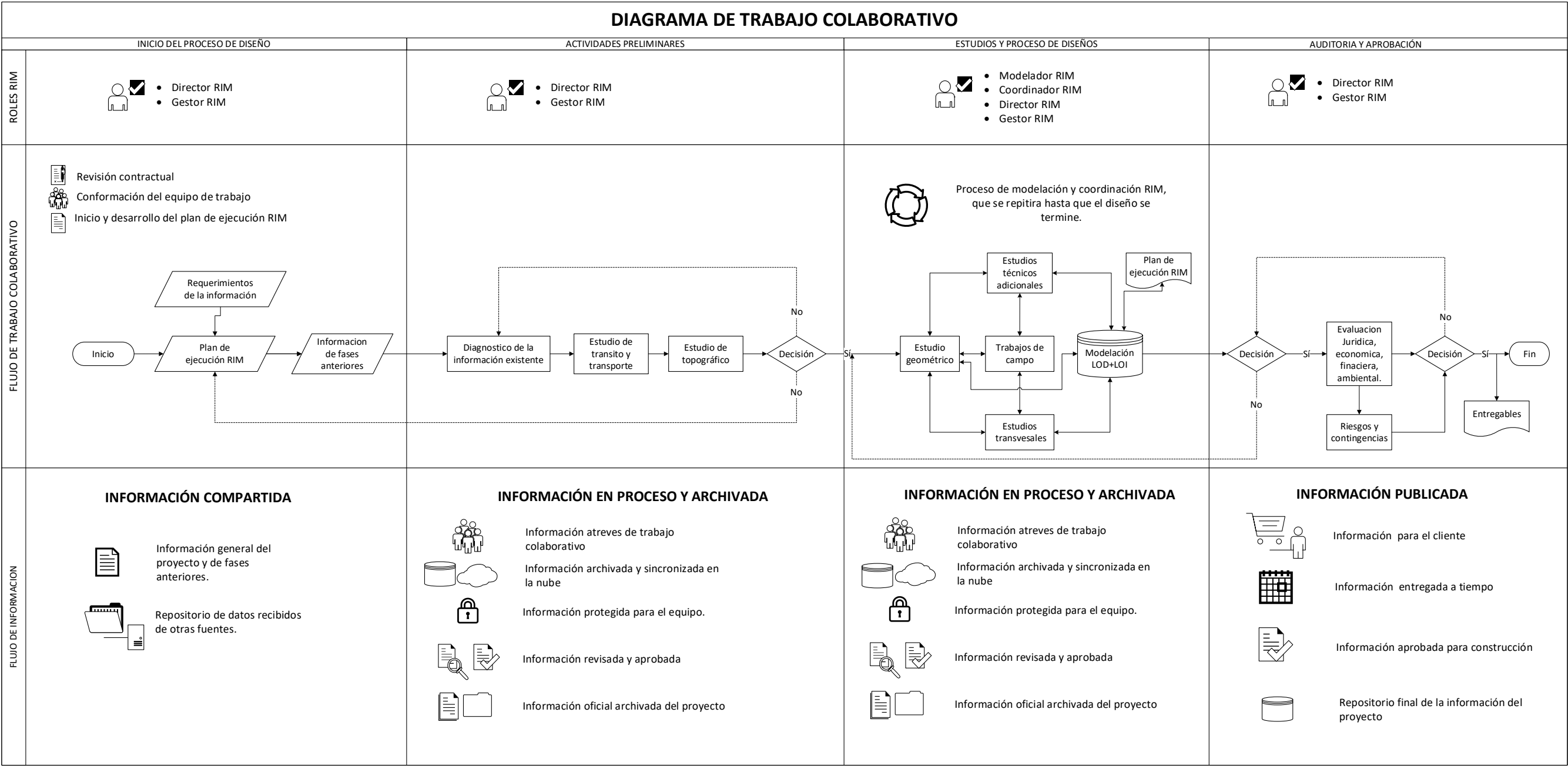
Para la etapa de diseños definitivos se busca perfeccionar al máximo el proyecto digital, siendo priorizados todos aquellos cambios menores que hagan falta para determinar el costo total del proyecto.

Al finalizar la Etapa 3, se debe tener un modelo completo del proyecto con todas las dimensiones que esto implica, como son; conceptos, bocetos, modelaciones, tiempo, costos, optimización, sostenibilidad y gestión.

Al igual que en las etapas anteriores, el flujo de la información se mantiene constante, con un nivel de seguridad y transparencia óptimos a todos los involucrados en el proyecto.

El perfeccionamiento final para el contrato de obra se da en esta etapa, siendo realizando la evaluación de cantidades y presupuestos optimizados para la correcta ejecución del mismo, además de realizar la última evaluación de riesgos de la etapa de diseños.

DIAGRAMA DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ETAPA 3 – DISEÑOS DEFINITIVOS



A continuación, se realiza una propuesta parcial de los contenidos que deben desarrollarse para cada una de las especialidades, estas son recomendaciones que pueden o no hacer parte del proyecto y pueden variar de acuerdo a su magnitud, impacto y riesgo.

ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
DIAGNOSTICO	Objetivos	Objetivos	Objetivos
	Alcances	Alcances	Alcances
	Recopilación de la información existente del inmobiliario vial y estructuras existentes	Inventario de señalización horizontal georreferenciado	Inventario de señalización horizontal georreferenciado
	Conclusiones y Recomendaciones	Inventario georreferenciado de estructuras de puentes, pontones, boxculvert y alcantarillas	Inventario georreferenciado de estructuras de puentes, pontones, boxculvert y alcantarillas
	Anexos	Video vial georreferenciado	Video vial georreferenciado
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos	Anexos
ESTUDIO DE TRANSITO y TRANSPORTE	Objetivos	Objetivos	Objetivos
	Alcances	Alcances	Alcances
	Información Secundaria	Información Secundaria	Información Secundaria
	Estudios de Campo	Estudios de Campo	Estudios de Campo
	Aforos Vehiculares	Aforos Vehiculares	Aforos Vehiculares
	Encuestas Origen destino	Encuestas Origen destino	Encuestas Origen destino
	Modelos y Proyecciones	Encuestas de Preferencias declaradas	Encuestas de Preferencias declaradas
	Análisis de Flujos de Transporte	Aforos Peatonales	Aforos Peatonales
	Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio	Velocidades	Velocidades
	Conclusiones y Recomendaciones	Inventario de Señalización	Inventario de Señalización



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
	Anexos	Modelos y Proyecciones	Modelos y Proyecciones
		Modelos de Macro-Simulación	Modelos de Macro-Simulación
		Modelos de Micro-Simulación	Modelos de Micro-Simulación
		Análisis de Flujos de Transporte	Análisis de Flujos de Transporte
		Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio	Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio
		Otros Análisis	Otros Análisis
		Análisis de Accidentalidad	Análisis de Accidentalidad
		Análisis de Intersecciones	Análisis de Intersecciones
		TPD de diseño	TPD de diseño
		Impacto Sobre Infraestructuras Existentes	Impacto Sobre Infraestructuras Existentes
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos	Anexos
TOPOGRAFÍA	Objetivos	Objetivos	Objetivos
	Alcances	Alcances	Alcances
	Fuentes de Información Geográfica	levantamiento topografico de lafaja via con lidar	levantamiento topografico de lafaja via con lidar
	Conclusiones y Recomendaciones	Ortomosaico de la faja de terreno	Red primaria y secundaria de mojones georeferenciado sistema Magnasirgas
	Anexos	Planos planta perfil y seccion transversal	Topografia
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos	Anexos
TRAZADO y DISEÑO GEOMÉTRICO, SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances
	Objetivos	Objetivos	Objetivos
	Alcances	Alcances	Alcances
	Criterios de Diseño	Criterios de Diseño	Criterios de Diseño
	Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras	Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras	Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras
	Trazado preliminar	Trazado	Trazado
	Modelación 3D	Modelación 3D	Modelación 3D
	Conclusiones y Recomendaciones	Plan de Manejo de Tránsito	Plan de Manejo de Tránsito



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos del Volumen	Anexos del Volumen
		Planos	Planos
			Carteras del Proyecto y de Replanteo
GEOLOGÍA	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances
	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	descripción de la Metodología	descripción de la Metodología	descripción de la Metodología
	Estudio de Antecedentes	Estudio de Antecedentes	Estudio de Antecedentes
	Análisis de Información Existente	Estudio Geológico de las Fuentes de Materiales	Estudio Geológico de las Fuentes de Materiales
	Estudio de las Amenazas Geológicas Naturales	Cálculo de Recursos y Reservas	Cálculo de Recursos y Reservas
	Conclusiones y Recomendaciones	Caracterización de Materiales	Caracterización de Materiales
	Anexos	Proyecto de Explotación de las Fuentes de Materiales	Proyecto de Explotación de las Fuentes de Materiales
		Informe de Fuentes de Materiales	Informe de Fuentes de Materiales
		Estudio de Túneles	Estudio de Túneles
		Análisis de Información Existente	Análisis de Información Existente
		Estudio Geológico Para Túneles	Estudio Geológico Para Túneles
		Análisis Geotécnico	Análisis Geotécnico
		Condiciones Especiales del Subsuelo	Condiciones Especiales del Subsuelo
		Obras Complementarias	Obras Complementarias
		Estudio de las Amenazas Geológicas Naturales	Estudio de las Amenazas Geológicas Naturales
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos	Anexos
ESTUDIO DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES DE PUENTES, OBRAS DE DRENAJE y OTRAS ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	Trabajos de Campo	Trabajos de Campo	Trabajos de Campo
	Características del Subsuelo	Características del Subsuelo	Características del Subsuelo
	Análisis de Socavación	Análisis de Socavación	Análisis de Socavación
	Análisis Geotécnico	Análisis Geotécnico	Análisis Geotécnico



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
	Condiciones Especiales del Subsuelo	Condiciones Especiales del Subsuelo	Condiciones Especiales del Subsuelo
		Sondeos para cimentaciones profundas	Sondeos para cimentaciones profundas
	Diagnóstico Geotécnico Inicial del Corredor y Sitios Críticos	Diagnóstico Geotécnico Inicial del Corredor y Sitios Críticos	Diagnóstico Geotécnico Inicial del Corredor y Sitios Críticos
	Análisis de Estabilidad y Estabilización de Taludes en sitios críticos	Plan de Exploración del Subsuelo y Ensayos	Plan de Exploración del Subsuelo y Ensayos
	Conclusiones y Recomendaciones	Topografía En Sitios Críticos	Topografía En Sitios Críticos
	Anexos del Volumen	Recomendaciones y Obras Requeridas Para Los taludes de corte	Recomendaciones y Obras Requeridas Para Los taludes de corte
		Recomendaciones y Obras Requeridas Para Los Terraplenes y Zonas de Disposición de Sobrantes	Recomendaciones y Obras Requeridas Para Los Terraplenes y Zonas de Disposición de Sobrantes
		Análisis de Estabilidad y Estabilización de Taludes en sitios críticos	Análisis de Estabilidad y Estabilización de Taludes en sitios críticos
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
		Anexos del Volumen	Anexos del Volumen
DISEÑO DEL PAVIMENTO	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	Descripción De La Metodología	Descripción De La Metodología	Descripción De La Metodología
	Información Existente	Información Existente	Información Existente
	Estudio De Fuentes De Materiales	Trabajos De Campo	Trabajos De Campo
	Ensayos De Laboratorio Y De Campo	Características Geotécnicas	Características Geotécnicas
	Diseño De Mezclas	Resultados De Ensayos De Laboratorio	Resultados De Ensayos De Laboratorio
	Estudio De Tránsito	Perfiles Estratigráficos	Perfiles Estratigráficos
	Diseño De Pavimentos	Estudio De Fuentes De Materiales	Estudio De Fuentes De Materiales
	Conclusiones Y Recomendaciones	Ensayos De Laboratorio Y De Campo	Ensayos De Laboratorio Y De Campo
	Anexos Del Volumen	Diseño De Mezclas	Diseño De Mezclas



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
		Estudio De Tránsito	Estudio De Tránsito
		Diseño De Pavimentos	Diseño De Pavimentos
		Conclusiones Y Recomendaciones	Conclusiones Y Recomendaciones
		Anexos Del Volumen	Anexos Del Volumen
ESTUDIO DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	definiciones	definiciones	definiciones
	Estudios Hidrológicos	Estudios Hidrológicos	Estudios Hidrológicos
	Recopilación y Análisis de Información Existente	Recopilación y Análisis de Información Existente	Recopilación y Análisis de Información Existente
	Metodología	Metodología	Metodología
	Cartografía	Cartografía	Cartografía
	Análisis de Lluvias	Análisis de Lluvias	Análisis de Lluvias
	Análisis de Caudales	Análisis de Caudales	Análisis de Caudales
	Subdrenaje	Justificación de Formulas Empleadas	Justificación de Formulas Empleadas
	Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras	Aplicación de las Teorías y Métodos de Predicción	Aplicación de las Teorías y Métodos de Predicción
	Conclusiones y Recomendaciones	Estudios Hidráulicos	Estudios Hidráulicos
		Análisis Hidráulico y de Socavación	Análisis Hidráulico y de Socavación
		Geomorfología - Dinámica Fluvial	Geomorfología - Dinámica Fluvial
		Subdrenaje	Subdrenaje
		Drenaje de la Corona	Drenaje de la Corona
		Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras	Requerimientos Técnicos Mejoramiento de Carreteras
		Resultados y Memorias de Cálculo	Resultados y Memorias de Cálculo
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
ESTUDIO Y DISEÑOS DE ESTRUCTURAS	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances	Objetivo y Alcances
	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcance	Alcance	Alcance
	Generalidades	Generalidades	Generalidades



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
	Consideraciones Mínimas de Diseño	Normas Aplicables	Normas Aplicables
	Facilidad de Construcción	Normas Principales	Normas Principales
	Economía	Normas Complementarias	Normas Complementarias
	Estudio de Alternativas	Carga Viva y Vida Útil	Carga Viva y Vida Útil
	Diagnóstico estructural de las estructuras existentes	Consideraciones Mínimas de Diseño	Consideraciones Mínimas de Diseño
	Conclusiones y Recomendaciones	Facilidad de Construcción	Facilidad de Construcción
		Economía	Economía
		Seguridad del Tráfico	Seguridad del Tráfico
		Modelacion estructural	Modelacion estructural
		Estudio de Alternativas	Estudio de Alternativas
		Diagnóstico estructural de las estructuras existentes	Diagnóstico estructural de las estructuras existentes
		Memoria de calculos y planos	Memoria de calculos y planos
		Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
URBANISMO Y PAISAJISMO	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	Información Secundaria	Información Secundaria	Información Secundaria
	Información Primaria	Información Primaria	Información Primaria
	Identificación de Alternativas de Tratamiento	Identificación de Alternativas de Tratamiento	Identificación de Alternativas de Tratamiento
	Evaluación de Alternativas de Tratamiento	Evaluación de Alternativas de Tratamiento	Evaluación de Alternativas de Tratamiento
	Diseño de las Soluciones Por Implementar	Diseño de las Soluciones Por Implementar	Diseño de las Soluciones Por Implementar
	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
GESTIÓN PREDIAL	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	Generalidades	Generalidades	Generalidades
	Plano General de Afectación Predial	Plano General de Afectación Predial	Plano General de Afectación Predial
	Levantamiento Topográfico	Levantamiento Topográfico	Levantamiento Topográfico
	Situaciones Particulares	Situaciones Particulares	Situaciones Particulares
	Registro Fotográfico	Registro Fotográfico	Registro Fotográfico



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
	Investigación Catastral	Investigación Catastral	Investigación Catastral
	Planos Prediales	Planos Prediales	Planos Prediales
	Fichas Prediales	Fichas Prediales	Fichas Prediales
	Recursos E Insumos Requeridos	Recursos E Insumos Requeridos	Recursos E Insumos Requeridos
	Relación de Predios Afectados	Relación de Predios Afectados	Relación de Predios Afectados
	Plano de Levantamiento General O Tira Topográfica	Plano de Levantamiento General O Tira Topográfica	Plano de Levantamiento General O Tira Topográfica
	Carpetas Individuales	Carpetas Individuales	Carpetas Individuales
	Registro Fotográfico	Registro Fotográfico	Registro Fotográfico
	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
	Objetivos	Objetivos	Objetivos
PROGRAMA de ADAPTACIÓN de la GUÍA AMBIENTAL	Alcances	Alcances	Alcances
	Adaptación de la Guía Ambiental	Adaptación de la Guía Ambiental	Adaptación de la Guía Ambiental
ESTUDIO DE CANTIDADES DE OBRA, ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO y PROGRAMACIÓN PARA PLIEGO de CONDICIONES	Objetivo	Objetivo	Objetivo
	Alcances	Alcances	Alcances
	Cantidades de Obra	Cantidades de Obra	Cantidades de Obra
	Especificaciones de Construcción	Especificaciones de Construcción	Especificaciones de Construcción
	Cálculo de Los Análisis de Precios Unitarios (A P U)	Cálculo de Los Análisis de Precios Unitarios (A P U)	Cálculo de Los Análisis de Precios Unitarios (A P U)
	Programa general de construcción, cronograma de ejecución de obra e inversión, programa de utilización de equipos y de materiales	Cálculo del A I U	Cálculo del A I U
	Requisitos Para la Programación	Método Para El Cálculo del A I U	Método Para El Cálculo del A I U
	Conclusiones y Recomendaciones	Procedimiento Para El Cálculo del A I U	Procedimiento Para El Cálculo del A I U
		Cálculo del A I U y del Precio de Venta:	Cálculo del A I U y del Precio de Venta:
		Programa general de construcción, cronograma de ejecución de obra e inversión, programa de utilización de equipos y de materiales	Programa general de construcción, cronograma de ejecución de obra e inversión, programa de utilización de equipos y de materiales
		Requisitos Para la Programación	Requisitos Para la Programación



ESTUDIO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
		Capítulo Conclusiones y Recomendaciones	Capítulo Conclusiones y Recomendaciones
EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL PROYECTO	Objetivos	Objetivos	Objetivos
	Alcances	Alcances	Alcances
	Antecedentes del Proyecto	Antecedentes del Proyecto	Antecedentes del Proyecto
	Metodología de Evaluación	Metodología de Evaluación	Metodología de Evaluación
	Análisis Costo Beneficio	Análisis Costo Beneficio	Análisis Costo Beneficio
	Diagnóstico Socioeconómico de la Región	Diagnóstico Socioeconómico de la Región	Diagnóstico Socioeconómico de la Región
	determinación de Costos y Beneficios del proyecto	determinación de Costos y Beneficios del	determinación de Costos y Beneficios del
	Precios Económicos	Precios Económicos	Precios Económicos
	Período de Inversión y de Operación	Período de Inversión y de Operación	Período de Inversión y de Operación
	Indicadores Económicos	Indicadores Económicos	Indicadores Económicos
	Análisis de Sensibilidad	Análisis de Sensibilidad	Análisis de Sensibilidad
	Costos y Beneficios No Cuantificados	Costos y Beneficios No Cuantificados	Costos y Beneficios No Cuantificados
	Alcance de la Evaluación Económica	Alcance de la Evaluación Económica	Alcance de la Evaluación Económica
	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones	Conclusiones y Recomendaciones
INFORME FINAL EJECUTIVO	Localización del Proyecto	Localización del Proyecto	Localización del Proyecto
	Importancia del Proyecto	Importancia del Proyecto	Importancia del Proyecto
	Ficha Técnica	Ficha Técnica	Ficha Técnica
	Formas de Presentación	Formas de Presentación	Formas de Presentación



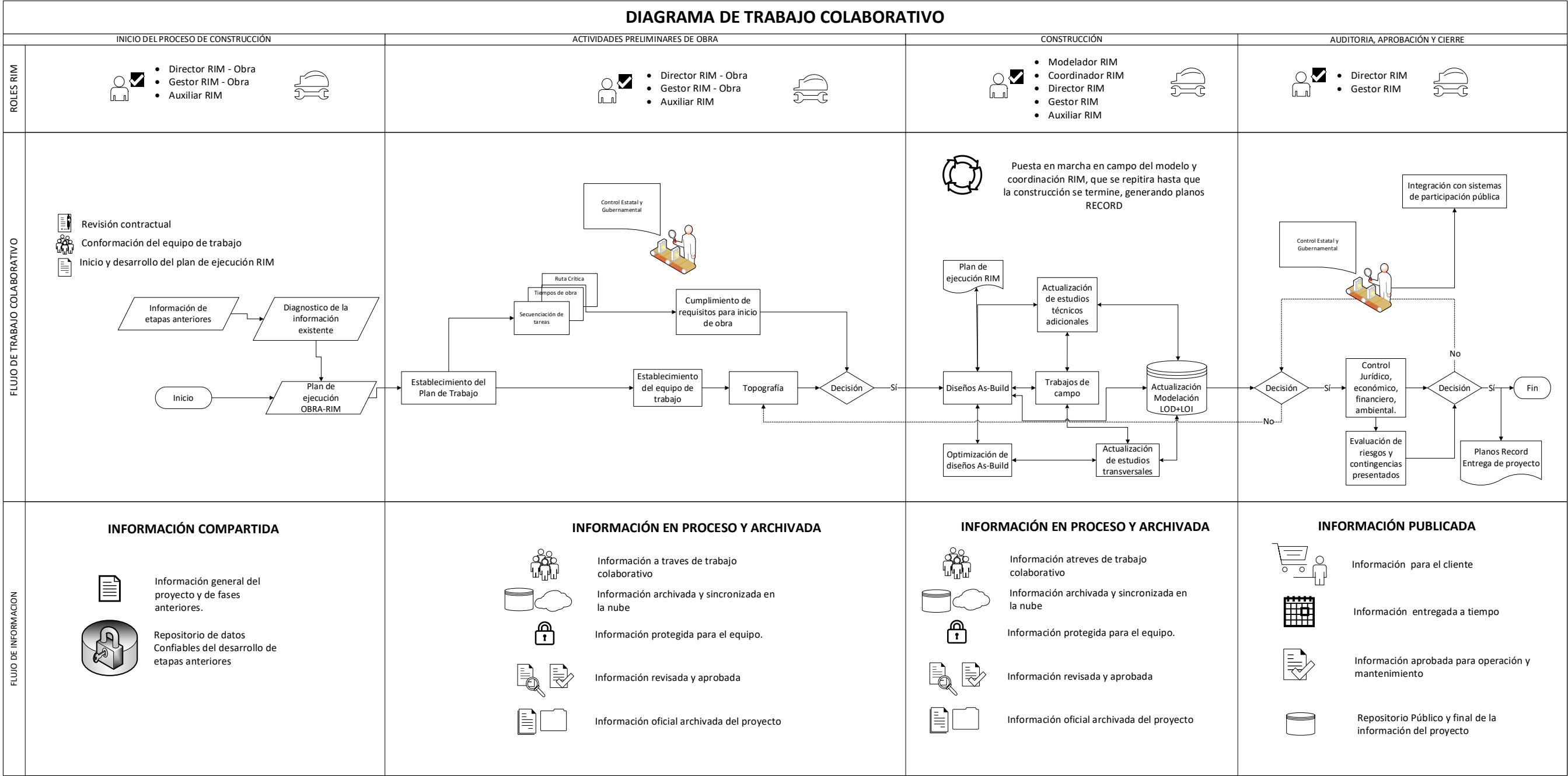
9.6.4 ETAPA 4 CONSTRUCCIÓN

El eje principal de la etapa de construcción es la realización y puesta en marcha de la infraestructura vial, siendo ejecutados los diseños desarrollados en las etapas anteriores, no obstante, la guía RIM, propone una metodología de seguimiento más rigurosa y transparente que pretende no solo trazabilizar, también optimizar la ejecución de los mismos en tiempo real y sin obstaculizar los procesos constructivos o los tiempos proyectados.

La puesta en marcha de los procesos productivos gracias a los modelos previamente realizados, se generará cambiando el paradigma de construcción a ensamblaje, dónde todos los pasos y tecnologías han sido previamente predefinidos.

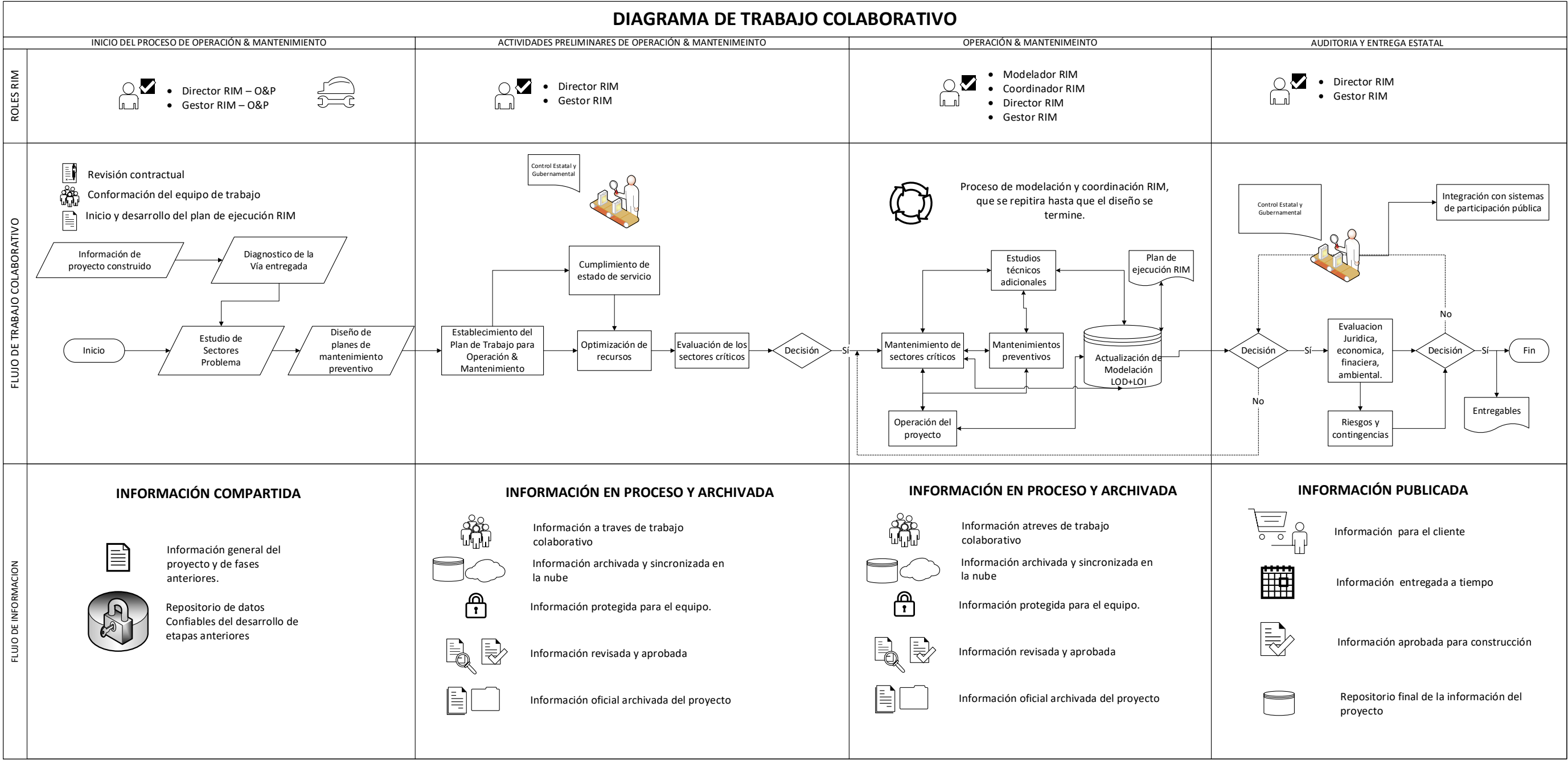
Y solo se requerirá del entrenamiento y capacitación de los involucrados para su correcta implementación, además de generar valores agregados al disponer de un amplio margen para generar optimizaciones en caso de requerirse.

DIAGRAMA DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN



La entrega de la infraestructura vial después de surtidas todas las etapas a las entidades gubernamentales, requerirán de los ajustes y complementaciones necesarias y requeridas por cada entidad, no obstante, este proceso se verá beneficiado por el enriquecimiento de la información surtida en todas las etapas y la trazabilidad que se tenga de la misma.

DIAGRAMA DE TRABAJO COLABORATIVO PARA LA ETAPA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



10. CONCLUSIONES

Se elaboró una guía metodológica para la implementación de la metodología BIM para los proyectos de infraestructura vial en el territorio colombiano.

Se lograron elaborar los mapas de procesos y secuencias de trabajo colaborativo para la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial.

Se describieron y ajustaron las herramientas BIM para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial.

Se lograron definir los alcances e interoperabilidad de la modelación BIM, no obstante, los mismos fueron modificados para configurar la metodología RIM para proyectos de infraestructura vial, con cambios sustanciales para lograr su completa implementación en los proyectos carreteros del territorio colombiano.

La parametrización del entorno de colaboración se desarrolló de forma general para su acoplamiento a cualquier proyecto de infraestructura vial, tomando como base fundamental el CDE cuyo objetivo es la estandarización de la información en un solo entorno de trabajo.

Se desarrollaron los diagramas de trabajo, necesarios para la implementación de BIM en el ciclo de vida de los proyectos viales colombianos, siendo necesaria la actualización y complementación de los mismos de acuerdo a la magnitud de los proyectos que se deseen desarrollar con la metodología.

Se lograron establecer las herramientas más utilizadas en el ámbito de los estudios, diseños, construcción, mantenimiento y operación de vías colombianas, siendo estas herramientas la base para el desarrollo de la metodología BIM.



Se esclarecieron las necesidades de los proyectos viales para así reconfigurar la metodología BIM y lograr su acoplamiento a las necesidades del sector vial, siendo necesario establecer cambios sustantivos debido a las grandes diferencias encontradas entre el sector de la construcción de edificaciones al carretero, por lo cual se optó por cambiar el primero de los términos Bulding (BIM) por RIM (Road Information Modeling) para así diferenciar su implementación en infraestructura vial.

Se requiere que el estado colombiano, comience a desarrollar leyes y reformas suficientes en el marco legal que impulsen la inclusión de metodologías constructivas más eficientes y transparentes, para incentivar su uso tanto en el sector público como en el privado.

Se encuentran en desarrollo y publicación en la actualidad la normativa necesaria para la metodología BIM, pero solo para proyectos de construcción vertical, siendo necesaria y urgente su implementación en proyectos de infraestructura vial, dónde los alcances y presupuestos son mayores.

La guía RIM, es una base fundamental para el desarrollo de la construcción digital para proyectos de infraestructura vial, siendo necesaria su publicación y replicación en todos los sectores de la construcción vial.

Las tecnologías actuales que se encuentran en el mercado colombiano, permiten parcialmente, la implementación de la metodología BIM para proyectos carreteros, siendo el mayor obstáculo el licenciamiento del software y la capacitación de su uso a todos los involucrados.



11. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- En el futuro sería pertinente profundizar sobre la influencia de la disciplina de ingeniería ambiental, social y antropología al momento de tomar decisiones trascendentales sobre el futuro del proyecto de infraestructura. Por otra parte, desde el ámbito social, es la creación de un formato neutral BIM que contenga la legislación contractual de cada uno de los contratos público del país y que permita explorar las aplicaciones de la metodología como una herramienta en la lucha contra la corrupción.
- Se hace necesaria la implementación de la guía RIM, para un proyecto de la magnitud suficiente, que abarque todas las especialidades para ajustar su correcto funcionamiento y operación.
- Profundizar en el desarrollo del mapa de procesos y trabajo colaborativo en las fases de construcción y mantenimiento.
- Analizar cómo metodología RIM se podría adaptar para el desarrollo de proyectos viales de poca envergadura.
- Desarrollar un marco legal. Jurídico y normativo, que vincule la metodología RIM con las entidades públicas y privadas.
- Desarrollo informático de una plataforma RIM para la optimización de su implementación



12. BIBLIOGRAFÍA

Accasoftware. (2019). IFC ¿Qué es, a qué sirve y cuál es su relación con el BIM? Retrieved from

[https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/#:~:text=El%20IFC%20es%20un%20formato,distorsi%C3%B3n%20de%20datos%20o%20informaciones.&text=El%20BIM%20\(Building%20Information%20Modeling,del%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n.](https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/#:~:text=El%20IFC%20es%20un%20formato,distorsi%C3%B3n%20de%20datos%20o%20informaciones.&text=El%20BIM%20(Building%20Information%20Modeling,del%20sector%20de%20la%20construcci%C3%B3n.)

Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. H. M., Sabah, S. H. A., Rafindadi, A. D., & Mikić, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, doi:10.1016/j.asej.2020.02.002

ASOBIM Colombia. (2016). Asociación colombiana BIM - ASOBIM. Retrieved from <http://asociacioncolombianabim.co/>

BIM KIT 2 DOCUMENTOS TÉCNICOS infraestructural vial 1. BIM FORUM COLOMBIA

BuildingSMART. (2012). BuildingSMART. Retrieved from <http://www.buildingsmart.es/bssch/la-asociación/>

CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA. (2012). *Maduración de proyectos - matriz de riesgos buenas prácticas contractuales* CAMACOL.

Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial, (CDTI). (2014). Cdti-e.p.e. Retrieved from <http://www.cdti.es/index.asp>



Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building information modeling (BIM) for transportation infrastructure – literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, 94, 257-281.
doi:10.1016/j.autcon.2018.07.001

D. Juan Bautista Bermejo García. (2018). *“aplicación de la metodología bim al proyecto de construcción de un corredor de transporte para un complejo industrial - modelo bim 4d planificación”*

DANE. (2021). *Indicadores económicos alrededor de la construcción (IEAC)*. (). Bogotá - Colombia: DANE. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_IVtrim20.pdf

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2012). *Estructuración de proyectos de infraestructura - etapa de preinversión* DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN.

es.BIM. (2014). Implantación del BIM en España. Retrieved from <https://www.esbim.es/en/es-bim/>

FEDESARROLLO. (2014, Dec 30,). Infraestructura de transporte en Colombia: Avances de la ley 1682 de 2013. *Revista De Derecho Público*, , 1-26.
doi:10.15425/redepub.33.2014.06

HURTADO, J. (2010). *Guía para la comprensión holística de la ciencia* (4th ed.) QUIRON.



Organización y digitalización de la información den edificaciones y obras de ingeniería civil, incluyendo BIM (building information modelling) parte 1:Conceptos y principios, NormativaU.S.C. Retrieved from <https://ecollection-icontec-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=B0D5ACBDB33897FC4902747B59DC921996DF3D9C2A164539&Req=>

JESSICA PAOLA FORERO AVILA, & SERGIO ENRIQUE PINILLA MARTINEZ. (2018). *Pérdidas de proyectos de infraestructura vial evitables en la etapa de planificación, por la automatización obtenida de la implementación conjunta de bim y lean construction Ley 1508 de 2012* (2012).

Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez-Cabrera, A., & Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en colombia. *Ingeniería Y Ciencia (Medellín, Colombia)*, 14(27), 117-151. doi:10.17230/ingciencia.14.27.6

PARLAMENTO EUROPEO. (2014). DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. *Documentos COM*, (365), 1-3. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaiart?codigo=904924>

Paz García, M. G. (2019). *Aplicación de la metodología building information modeling (BIM) en el diseño de una glorieta en la carretera CV-310 PK 15+750 en la provincia de valencia.*

Prieto-Tibaduiza, W. A., Rocha-Vega, S. M., Paez-Martinez, H. J., & Lozano-Ramirez, N. E. (2019). Propuesta de herramienta para la integracion de BIM a la toma decisiones



financieras en proyectos de construcción. *Ingeniería y Ciencia*, 15(29), 75-101.

doi:10.17230/ingciencia.15.29.3

Retrieved

from

<https://search.proquest.com/docview/2242080946>

REBUILD. (2019). ¿Qué es la construcción digital y cómo se aplica a la realidad? Retrieved

from [https://www.rebuildexpo.com/que-es-la-construccion-digital-y-como-se-aplica-a-](https://www.rebuildexpo.com/que-es-la-construccion-digital-y-como-se-aplica-a-la-realidad/)

[la-realidad/](https://www.rebuildexpo.com/que-es-la-construccion-digital-y-como-se-aplica-a-la-realidad/)

ROADBIM. (2016). ROADBIM – en construcción. Retrieved from <http://roadbim.es/>

Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E., Edwards, D. J., Li, H., & Wang, C. (2020). BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor. *Automation in Construction*, 112, 103086. doi:10.1016/j.autcon.2020.103086

Takim, R., Harris, M., & Nawawi, A. H. (2013). Building information modeling (BIM): A new paradigm for quality of life within architectural, engineering and construction (AEC) industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 23-32. doi:<https://doi-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>

Technology Zigurat, G. I. (2018). BIM edificación pública, metodología y requisito en los proyectos. Retrieved from <https://www.e-zigurat.com/blog/es/bim-requisito-edificacion-publica/>

Tiempo, C. E. E. (2017, 15 de marzo de). Fiscalía pide a corte suprema investigar a ocho congresistas y un exministro por caso odebrecht. *Portafolio.Co* Retrieved from <https://www.portafolio.co/economia/gobierno/fiscalia-pide-investigar-a-congresistas-por-caso-odebrecht-511660>



Tiempo, C. E. E. (2018, -06-08). El 48 % del software instalado en colombia es pirata. *El Tiempo* Retrieved from <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/estudio-revela-que-el-48-por-ciento-del-software-instalado-en-colombia-es-ilegal-228156>

Tong Geng. (2019). *BIM technology in underground transportation engineering*