



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Ingeniería Vial

IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA

Ing. Pablo Erickson Girón Palacios

Asesorado por Msc. Ing. Juan Carlos Castillo Valdez

Guatemala, febrero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE
PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. PABLO ERICKSON GIRÓN PALACIOS

ASESORADO POR EL MSC ING. JUAN CARLOS CASTILLO VALDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

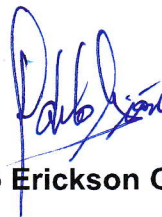
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Arnoldo Morales Rosales
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Julianna Mcdamara Anelu Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 8 de enero del 2021.




Ing. Pablo Erickson Girón Palacios


Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.243.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Pablo Erickson Girón Palacios**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería vial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, febrero de 2023

LNG.EEP.OI.243.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA”

presentado por **Ing. Pablo Erickson Girón Palacios** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería vial**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtro. Ing. Edgar Dario Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 26 de septiembre de 2022

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que se ha revisado y APROBADO la siguiente TESIS DE GRADUACIÓN del alumno:

Carné: 1999-11484
Alumno: Pablo Erikson Giron Palacios
Maestría: Maestría en Artes en Ingeniería Vial
Título de la
Investigación: "IMPLEMENTACION DE INGENIERIA DE DATOS PARA LA GESTION DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA"

En este sentido, extendiendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular

Vo. Bo.
Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador Área Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 9 de mayo del 2,022

Maestro
Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
USAC – Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Mtro. Álvarez:

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Civil **Pablo Erickson Girón Palacios** quien se identifica con el Registro Académico 999003759 procedo a dar mi aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA DE DATOS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES EN GUATEMALA”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería Vial de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.

Atentamente,



Juan Carlos Castillo Valdez
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5719

MSc. Ing. Juan Carlos Castillo Valdez.
Asesor
Colegiado No. 5719

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuente de inspiración para el desarrollo de la ciencia a través del tiempo.
Jesús	Mi salvador, guía y maestro planeador.
Mis padres	Por su paciencia infinita y apoyo incondicional en todos los procesos durante mi vida.
Mis hermanos	Por ser un ejemplo y referente en cada aspecto de la vida.
Mi esposa	Por recordarme siempre que de la mano de Dios todo es posible.
Mis hijos	Débora Abigaíl y Pablo Andrés Girón por ser la fuente de inspiración para mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por facilitar la educación superior a la mayoría de los guatemaltecos.
---	--

Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos aprendidos y ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
-------------------------------	--

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS	XV
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Proyectos viales en Guatemala	1
1.1.1. Entidades involucradas en la construcción de carreteras.....	2
1.1.1.1. Entidades públicas	2
1.1.1.2. Entidades privadas.....	3
1.1.1.3. Alianzas público-privadas, APP.....	4
1.1.2. Tipos de proyectos en Guatemala.....	5
1.1.2.1. Construcción	5
1.1.2.2. Mejoramiento	5
1.1.2.3. Ampliación	5
1.1.2.4. Reconstrucción	6
1.1.2.5. Mantenimiento.....	6
1.1.2.6. Reposición	6
1.2. Gestión de proyectos.....	7
1.2.1. ¿Qué es un proyecto vial?	7

1.2.2.	Ciclo de vida de un proyecto vial	7
1.2.3.	Inicio	9
1.2.4.	Planificación	10
1.2.5.	Ejecución	10
1.2.6.	Monitoreo y control	10
1.2.7.	Cierre	10
1.3.	Costos de proyecto	11
1.3.1.	Costos ABC	11
1.3.1.1.	Costos directos	11
1.3.1.2.	Costos indirectos	12
1.4.	Presupuesto de proyecto	12
1.5.	Herramientas informáticas	13
1.5.1.	Ingeniería de datos	13
1.5.2.	Estructura de desglose de trabajo	14
1.5.3.	Big data	16
1.5.3.1.	Volumen	17
1.5.3.2.	Variedad	19
1.5.3.3.	Velocidad	19
1.5.4.	Ciencia de datos	20
1.5.4.1.	Pipelines	21
1.5.5.	Analista de datos	21
1.5.6.	Ingeniero de datos	22
1.5.7.	Software para análisis de datos	23
1.6.	Gestión del valor ganado	25
1.6.1.	Variables para la GVG	26
1.6.2.	Variaciones o desviaciones de la GVG	27
1.6.3.	Índices de desempeño de la GVG	28
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	31

2.1.	Equipo de trabajo.....	32
2.1.1.	Recurso humano.....	33
2.1.2.	Recurso informático	35
2.2.	Estructura de desglose de trabajo	38
2.3.	Etapas de aplicación.....	41
2.3.1.	Presupuesto inicial.....	41
2.3.2.	Ejecución del proyecto.	43
2.3.3.	Actualizaciones al presupuesto.....	43
2.3.4.	Cierres parciales	44
2.3.5.	Cierre del proyecto.....	45
2.4.	Proceso de recolección de datos	45
2.5.	Procesamiento de la información.....	50
2.6.	Integración y monitoreo de costo	51
2.7.	Gestión del proyecto.....	53
2.8.	Modelo y acceso de informes	57
2.9.	Resguardo de la información	61
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
3.1.	Metodología de gestión	66
3.2.	Análisis de la gestión del proyecto	67
4.	ANÁLISIS DE COSTOS	69
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	75
	REFERENCIAS	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Etapas generales del ciclo del proyecto	8
2.	Ciclo de vida de un proyecto vial	9
3.	Proceso de la ciencia de los datos	20
4.	Contexto de una herramienta de análisis de datos	24
5.	Valor ganado, valor planificado y costo reales	25
6.	Reposición de asfalto km 71, CA-2 Occidente	32
7.	Organigrama propuesto para el control del proyecto	33
8.	Modelo relacional utilizando Power Pivot	37
9.	Flujograma para actualizar el presupuesto original	44
10.	Proceso de recolección de datos para fabricación y colocación de MAC.....	46
11.	Vale de despacho de MAC en planta de asfalto	47
12.	Vale de despacho de MAC recibido por área de transportes.....	48
13.	Vale de despacho de MAC en frente de colocación	48
14.	Hoja resumen de la colocación de MAC del día	49
15.	Volumen de información generado por mes	51
16.	Modelo relacional para integración del costo.....	52
17.	Curva S de la GVG para el proyecto	54
18.	Curva S de la gestión del valor ganado.....	58
19.	Cantidades ejecutadas de bacheo	59
20.	Horas laboradas del personal de colocación	60
21.	Horas efectivas equipo de colocación de MAC	61
22.	Estructura de archivos utilizada para el resguardo de información	63

23.	Curva S del proyecto total.....	67
-----	---------------------------------	----

TABLAS

I.	Estructura de desglose de trabajo	15
II.	Divisiones principales de las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes	38
III.	Secciones de la división 400 pavimentos asfálticos.....	38
IV.	Ejemplo de estructura de desglose de trabajo	40
V.	Recursos del proyecto	42
VI.	Estructura de presupuesto inicial.....	42
VII.	Transacciones realizadas por mes	50
VIII.	Integración del costo	53
IX.	Usuarios de informes.....	58
X.	Comparativo de costos de implementación	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Km.	Kilómetro
nm	Nanómetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

<i>Big Data</i>	Datos muy variados, que se obtienen en volúmenes crecientes y a gran velocidad
Ciencia de datos	Campo interdisciplinario que involucra métodos científicos, procesos y sistemas para extraer conocimiento de datos.
<i>Dashboard</i>	Es un panel que contiene los principales KPI agrupados para una fácil comprensión e interpretación de información.
EDT	Estructura de desglose de trabajo
IA	Inteligencia artificial
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> , hace referencia a una métrica que sintetiza información.
MAC	Mezcla asfáltica en caliente
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
Superintendente	Jefe ejecutivo del contratista quien dirige la obra, poseyendo plena autoridad para actuar como su

representante autorizado con relación al trabajo, debe ser ingeniero civil colegiado activo y hablar español.

T3-S2

Tracto camión de tres ejes con semirremolque de dos ejes.

T3-S2-R4

Tracto camión de tres ejes con semirremolque de dos ejes y remolque con ejes tándem, según la clasificación.

RESUMEN

Los proyectos viales en Guatemala son ejecutados gracias a la intervención de profesionales de diferentes ramas. La rama informática ha desempeñado un factor poco relevante, pero gracias al crecimiento tecnológico de los últimos años se ha involucrado en la planificación, ejecución y cierre de los proyectos a través de la ingeniería de datos.

La ingeniería de datos es ampliamente utilizada en la actualidad, y esto nos permite tomar el mejor provecho, en su mayoría, durante la fase de planificación y ejecución, debido a que durante la planificación de un proyecto vial se pueden determinar los índices que el planificador considere más relevantes y a través de un adecuado seguimiento comprobar la eficiencia de la ejecución.

Hasta la década de los años dos mil se realizaban análisis descriptivos y de diagnósticos basados en la información obtenida de un proyecto, para la década de los años dos mil diez basados en datos históricos se podía realizar un análisis predictivo. Actualmente a través de la ingeniería de datos podemos predecir que podría pasar y recomendar rutas de acción que favorezcan la ejecución del proyecto vial.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los proyectos viales en Guatemala, en su mayoría, son gestionados por la Dirección General de Caminos, la cual exige, en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, un Programa de trabajo para la construcción. (MCIV, 2001) Este programa se modifica únicamente cuando se aprueban documentos de cambio que afecten el tiempo contractual, y se utiliza para conocer el avance financiero del proyecto vial.

Por ser una actividad mayor mente de campo, las empresas constructoras tienen mucho cuidado en la planificación y ejecución de los proyectos, pero pocas empresas aplican ingeniería al volumen de información generada durante las diferentes etapas del proyecto, es decir planificación, seguimiento y cierre del proyecto.

La revolución digital que se ha experimentado en los últimos años ha provocado que se tenga una gran cantidad de información, que bien recolectada y analizada, puede proporcionar premisas relevantes que afecten las futuras decisiones de una empresa, esto se conoce como Ingeniería de Datos.

Las empresas deben gestionar los proyectos viales con el objetivo de obtener el costo presupuestado y cumplir el programa estimado. La Ingeniería de datos puede utilizarse para mejorar los procesos, extraer conocimiento o un mejor entendimiento de la ejecución del proyecto vial.

Para poder formular el problema se debe analizar primero una pregunta general que englobe el problema y luego se plantearán algunas preguntas

auxiliares que ayuden a identificar las partes del problema que requieren un especial análisis.

¿Se gestionan los proyectos viales en Guatemala de tal forma que, a través de su ejecución, se mejoren los procesos y se extraiga conocimiento que sirva para futuras incursiones?

- ¿Se puede mejorar la ejecución de un proyecto vial basándose en la información recolectada y, con base en esta, tomar medidas correctivas?
- ¿Cuál debe ser el seguimiento que se le debe dar a un proyecto vial para que este se termine en el costo y tiempo estimado?
- ¿Qué puestos de trabajo pueden optimizarse para reducir los costos de un proyecto vial?

OBJETIVOS

General

Proporcionar una metodología de gestión de proyectos viales en Guatemala, durante su ejecución implementando ingeniería de datos.

Específicos

1. Recomendar una herramienta que mejore la ejecución de un proyecto vial, basándose en la información recolectada durante su ejecución.
2. Definir las etapas del proyecto en donde se debe implementar la ingeniería de datos.
3. Crear una metodología para optimizar los recursos del proyecto vial mediante la evaluación y desempeño de los renglones de trabajo.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Esta investigación tendrá un enfoque mixto, debido a que se obtendrá información de un proyecto vial, se analizarán, se relacionarán y se interpretarán los resultados de forma cuantitativa y cualitativa, esto con el fin de mejorar la ejecución del proyecto.

El enfoque cuantitativo se hará por medio de la recolección de datos de los costos presupuestados, además se obtendrán los datos relacionados a los costos ejecutados y se medirá el costo unitario de los renglones que forman parte de la estructura de desglose de tareas previamente establecida.

El enfoque cualitativo se hará al comparar el costo presupuestado con el costo ejecutado, aquí no se manipularán las variables, sino se analizarán y se le dará seguimiento a los costos ejecutados que se encuentran fuera del rango establecido y permitido para que, a través de este análisis, se puedan tomar medidas correctivas.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería de datos aplicada a la gestión de proyectos viales puede definirse como un conjunto de conocimientos y técnicas orientadas a la utilización, aprovechamiento e interpretación de datos que permiten mejorar la eficiencia del proyecto, esta investigación busca identificar las etapas del proyecto en donde se puede aplicar esta técnica.

La característica principal de la ingeniería de datos es la capacidad de identificar los datos, en este caso generados por la planificación y ejecución de un proyecto vial, y poder unificarlos, analizarlos y a través de ellos obtener un aprendizaje que permita mejorar la ejecución del proyecto.

La causa por la que nace esta investigación es el poco aprovechamiento que tiene el programa de trabajo solicitado por la Dirección General de Caminos, el cual es un requisito indispensable para iniciar un proyecto vial; el crecimiento acelerado que tiene la tecnología en Guatemala y el impacto que tiene la ingeniería de datos en el diario vivir pero que pasa desapercibido para la mayoría de los usuarios de internet.

Día a día la ingeniería de datos se aplica mayormente en el uso de las redes sociales, lo cual despertó el interés por profundizar este tema y buscar sus ventajas para aplicarlo a la gestión de proyectos viales.

El fin de todo proyecto es ejecutarlo en el costo presupuestado y el tiempo estimado este objetivo despertó el interés por aplicar la ingeniería de datos a nivel profesional ya que puede ser una herramienta útil para todo director de proyectos.

A través de un enfoque mixto se hará una investigación no experimental debido a que la implementación de la ingeniería de datos se hará a través de la información recolectada en campo, esta se analizará e interpretará. No se realizarán ensayos ni pruebas de laboratorio. A través del seguimiento de variables dependientes e independientes se determinarán los principales indicadores que muestren el estado del proyecto y el rumbo de su ejecución.

La investigación se divide en cuatro capítulos principales, primero el marco teórico sienta las bases de que son los proyectos viales en Guatemala, definen que es la Gestión de proyectos, como deben costearse y presupuestarse los proyectos idealmente.

El segundo capítulo de la investigación es el desarrollo de la investigación, aquí además de definir la ingeniería de datos se procesan los datos del proyecto que se analizará para identificar el presupuesto de obra, darle seguimiento a la ejecución y definir los informes que pueden obtenerse en estas dos etapas de la ejecución del proyecto.

En el tercer capítulo se analizarán los resultados, se tendrá como principal objetivo identificar qué tipo de análisis es el ideal para que un director de proyectos, este análisis puede ser por tipo de recurso (mano de obra, materiales, insumos), análisis de montos a través de tiempo o una combinación de ambos.

El cuarto capítulo abordará una discusión de resultados, esto con el fin de identificar, analizar, mejorar y discutir los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación y el análisis de resultados.

1. MARCO TEÓRICO

Los fundamentos y base para el desarrollo de la investigación inician en este capítulo, siendo los más importantes los tratados a continuación.

1.1. Proyectos viales en Guatemala

Desde que inicia un asentamiento humano, se tiene la necesidad de que sus habitantes interactúen entre sí, y a su vez interactuar con otros asentamientos lo que da paso a la formación de los caminos.

Desde su descubrimiento en marzo de 1524 Guatemala ha tenido cuatro ciudades que han tenido la función de capital del reino de Guatemala (Morales, 2014) durante este cambio las ciudades que han dejado de ser capital del reino se han mantenido habitadas a pesar de los desastres naturales, con esto se ha tendido la necesidad de comunicarse, no solo con las antiguas capitales, sino con los diferentes puntos poblados.

Todos los centros poblados se comunicaban entre sí por medio de “Caminos de herradura, que en general eran escabrosos y difíciles de transitar” (DGC, 2020, p. 5) a lo largo del tiempo se abrieron caminos que comunicaban la capital del reino con los principales puertos marítimos al norte y al sur del país.

A pesar de que por 200 años se construyeron caminos y puentes, algunos de ellos en pie hasta hoy, no fue sino hasta el 28 de marzo de 1920 que se creó la Dirección General de Caminos entidad que “Tiene a su cargo el planeamiento a su nivel, estudio, diseño, preparación de documentos de licitación,

construcción, supervisión y mantenimiento de las carreteras de la República” (MCIV, 1975, pp. 101-02).

En la actualidad “los proyectos viales se ejecutan, en su gran mayoría, por la Dirección General de Caminos, sin embargo, ya se cuenta con una ruta privada denominada Vía Alternativa del Sur” (Conasa, 2020, p. 1). Construida en su totalidad con fondos privados. Además, el Ministerio de Finanzas Públicas creó el Consejo Nacional de Alianzas para el Desarrollo de Infraestructura Económica que “Tiene como objeto establecer el marco normativo legal para la celebración y ejecución de contratos de infraestructura física nacional entre los sectores público y privado” (Ministerio de Finanzas, 2020, p. 1). Este último fue creado por el Decreto Legislativo 16-2010 en el año 2010 y desde entonces han transcurrido 11 años y no se ha logrado ninguna alianza público privada.

1.1.1. Entidades involucradas en la construcción de carreteras

En Guatemala existen tres entidades que se encargan de la construcción y mantenimiento de carreteras y caminos estas son:

1.1.1.1. Entidades públicas

La Dirección General de Caminos (DGC) “Es la Institución Gubernamental que planifica, diseña, ejecuta y supervisa las obras de construcción, mejoramiento, ampliación, reconstrucción y mantenimiento de las carreteras en la República de Guatemala” (DGC, 2020, p. 3). Según lo indica la misión de esta institución.

Unidad Ejecutora de Conservación Vial que tiene como misión “Conservar la infraestructura de la red vial del país” (Unidad Ejecutora de Conservación Vial,

2020, p. 2). Esta actividad la ejecuta únicamente en los tramos que tiene asignada Covial, esto para evitar que le den mantenimiento a un tramo que tenga asignada una empresa constructora contratada por la DGC.

COVIAL nace con el Decreto 134-96 como Fondo Vial, creado con los recursos provenientes del Impuesto a la distribución de petróleo crudo y combustibles derivados del petróleo. Es una dependencia del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda y ejecuta la conservación vial por medio de las “Actividades de mantenimiento rutinario, periódico y atención de emergencias” (COVIAL, 2020, p. 6).

Las municipalidades por medio de sus oficinas de planificación municipal constantemente publican concursos en la página de Guatecompras en donde licitan mejoramientos y mantenimientos a los caminos municipales. Normalmente un proyecto vial no incluye las calles del casco urbano de una población, estas calles y caminos vecinales están a cargo de las municipalidades por esta razón es la tercera entidad que tiene a su cargo la construcción de proyectos viales.

1.1.1.2. Entidades privadas

Guatemala ya cuenta con una carretera construida en su totalidad por una entidad privada, esta es la Vía Alternativa del Sur (VAS), a pesar de no contar con la supervisión de la DGC esta fue diseñada conforme a las Especificaciones Generales de Carreteras y Puentes y bajo las especificaciones de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) según lo indica su página oficial. (VAS, 2020)

Así como esta carretera fue construida por una entidad privada, seguramente se construirán más carreteras de este tipo en un futuro cercano, es

una carretera privada que se conecta con las carreteras públicas sobre la CA-9 sur en el delta de Bárcenas y con al Carretera a Villa Canales en el Km 18. Para lograr esta conexión con las vías públicas fue necesaria la no objeción por parte de la DGC y los permisos municipales para la construcción y adaptación de la vía con los caminos municipales.

1.1.1.3. Alianzas público-privadas, APP

Esta es una modalidad que el Estado contrata a largo plazo entre entidades públicas y privadas que llegan a un acuerdo para proveer al estado de un activo o servicio público necesario para la población, pero que el estado no puede financiar. En este modelo la parte privada asume los riesgos significativos y la responsabilidad de administrar el proyecto, a su vez la retribución de la inversión está vinculada al éxito que tenga el proyecto.

Con las alianzas público-privadas se vincula el capital y la especialización del sector privado con la provisión de bienes y servicios públicos, esto implica la retención y transferencia de riesgos entre las partes y mecanismos de pago relacionados con el éxito del proyecto además de la disponibilidad de niveles de servicio asociados a una infraestructura pública. Finalmente se debe determinar un proceso para realizar la transferencia del bien al estado que puede tener un máximo de 30 años.

En Guatemala ya existe un marco legal que hace posible las APP el cual inicia con la ley de alianzas para el desarrollo de infraestructura económica creada por el decreto 16-2010 del Congreso de la República, además existe el Reglamento de la ley de Alianzas para el Desarrollo de Infraestructura Económica creado por el Acuerdo Gubernativo 360-2011. Además, existen manuales, resoluciones y reglamentos dictados por el Consejo Nacional de Alianzas para el

Desarrollo de Infraestructura Económica, finalmente los proyectos de APP deben regirse por la Ley de contrataciones del Estado.

1.1.2. Tipos de proyectos en Guatemala

Cada año las carreteras de Guatemala sufren deterioro por diversos factores, y la DGC es la entidad encargada, tal como lo describe su misión, de darle mantenimiento y en casos más severos reconstruirlos. Los tipos de proyectos que se ejecutan en Guatemala son:

1.1.2.1. Construcción

Estos proyectos consisten en la construcción en todos los niveles de obras que permiten la incorporación de una vía nueva a la red vial existente, por ejemplo, la construcción del desvío de Barberena, y el libramiento de Chimaltenango.

1.1.2.2. Mejoramiento

Este tipo de proyecto aumenta la calidad del servicio que presta una vía existente mediante cambios en su diseño geométrico o mediante cambios o mejoras a su estructura de pavimento. En este tipo de proyecto se pueden incluir los caminos de terracería que son pavimentados.

1.1.2.3. Ampliación

Cuando un proyecto se ejecuta para aumentar su capacidad vehicular se clasifica como una ampliación, aquí se incluyen construcción de carriles

adicionales por ejemplo una ampliación de dos a cuatro carriles o la construcción de un carril de ascenso.

1.1.2.4. Reconstrucción

Cuando una vía se encuentra en muy mal estado, y su nivel de servicio ha disminuido considerablemente debido al deterioro, se dice que se hará una reconstrucción, se utilizan los procesos necesarios para lograrlo; en algunos casos los daños son tan severos que afectan la estructura de pavimento y se hace necesario intervenir las capas de subbase y base de la estructura de pavimento.

1.1.2.5. Mantenimiento

Como se expuso con anterioridad esta actividad está a cargo de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial y tiene como principal objetivo “Conservación de la red vial del país, la totalidad de la red vial pavimentada y parcialmente la red vial no pavimentada, con la tendencia de incrementar su cobertura” (COVIAL, 2020, p. 3).

1.1.2.6. Reposición

En los últimos años el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y vivienda han publicado, a través de la página Guatecompras, concursos de Reposición.

Este tipo de concursos están orientados principalmente a proyectos con carpeta de rodadura de asfalto y consiste en el proceso constructivo de fresar una capa de asfalto existente y reponerla con el mismo espesor fresado. Debido

a este proceso constructivo recibe el nombre de Reposición, en algunos casos se incluyen trabajos de drenaje menor y obras de protección, pero estos dependen del dictamen técnico que emita la DGC.

1.2. Gestión de proyectos

La gestión se puede definir como “Ocuparse de la administración, organización y funcionamiento de una empresa” (RAE, 2020, p. 1) de tal forma que la gestión de un proyecto se refiere a la administración desde su inicio, al funcionamiento, puesta en marcha y conclusión de un proyecto.

1.2.1. ¿Qué es un proyecto vial?

Un proyecto “Es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (Project Management Institute, 2013, p. 3) con esta base, se puede definir que un proyecto vial es un esfuerzo temporal que involucra recurso humano, maquinaria y materiales, que se lleva a cabo para crear una vía que será puesta al servicio de una población y que forma parte de la red general vial del país.

1.2.2. Ciclo de vida de un proyecto vial

Se puede definir el ciclo de vida de un proyecto como una “serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre” (PMI, 2013, p. 38). Con base en esta definición se pueden definir cuatro etapas macro del ciclo de un proyecto, estas son:

- Inicio del proyecto
- Organización y preparación

- Ejecución del trabajo
- Cierre del proyecto

A medida que se avanza en el ciclo del proyecto se involucran más recursos, esto se debe a que en el inicio de un proyecto, en su concepción, solamente es una idea y esta idea conforme se madura genera nuevas necesidades que son atendidas por personal especializado.

Figura 1. **Etapas generales del ciclo del proyecto**



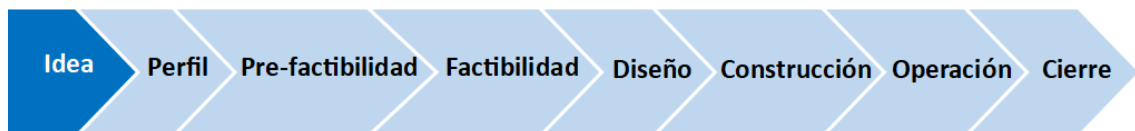
Fuente: PMI (2013). *Fundamentos para la dirección de proyectos*.

En Guatemala el ciclo de un proyecto nace con una idea o la necesidad de una población que gestiona por medio de sus autoridades locales la inclusión del proyecto vial a la Dirección General de Caminos, la cual elabora un perfil técnico, luego contrata un estudio de prefactibilidad, seguidamente un estudio de factibilidad a estas tres etapas se les conoce como preinversión.

La siguiente etapa en el ciclo de un proyecto es la Inversión, la cual consiste en un diseño geométrico y con base en este diseño se procede a la licitación y contratación de los trabajos para concluir esta etapa con la ejecución.

La etapa final del ciclo del proyecto es la puesta en marcha y operación, durante esta etapa se pone al servicio de la comunidad la obra ejecutada e inicia el cierre del proyecto, posterior a esto entra en una etapa de mantenimiento el cual puede ser rutinario o periódico.

Figura 2. **Ciclo de vida de un proyecto vial**



Fuente: elaboración propia.

Para este estudio interesa la parte de construcción, por lo que se definirán las etapas involucradas en esta actividad, estas son:

1.2.3. Inicio

Para el inicio de un proyecto vial en Guatemala se hace necesario contar con un programa de trabajo, el cual está normado en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes publicadas por la Dirección General de Caminos, este es uno de los principales requisitos que se necesitan y que ayudan tanto a la empresa ejecutora como a la empresa supervisora a darle seguimiento al proyecto vial.

1.2.4. Planificación

Otra actividad que se debe realizar previo al inicio de la ejecución de los trabajos, es la planificación, con esta se pretende determinar la programación, tiempo de ejecución y utilización de los recursos que serán necesarios para ejecutar el proyecto vial.

1.2.5. Ejecución

Es la etapa donde se da vida al proyecto vial y depende de una adecuada planificación que contemple buenos rendimientos, además de un monitoreo constante y un control de proyectos que permita terminar el proyecto en el costo estimado y en el tiempo programado.

1.2.6. Monitoreo y control

Se entiende por monitoreo y control de un proyecto a la constante recopilación de información que permita cuantificar el avance y el costo de un proyecto, para que por medio de esta actividad se puedan identificar las etapas y los tiempos que necesiten ajustes para cumplir con el objetivo del proyecto.

1.2.7. Cierre

La ejecución de los proyectos viales en Guatemala finaliza al alcanzar el objeto por el cual fueron contratadas las empresas constructoras y supervisoras, ya sea un mejoramiento, una reposición, una ampliación, entre otros. Pero esta finalización es el inicio de una etapa, por ejemplo el cierre de un proyecto de construcción, es el inicio de un proyecto de mantenimiento. Se debe considerar en el cierre de un proyecto la recopilación de la información generada en el

mismo, esto con el fin de generar un registro de los rendimientos de maquinaria, volúmenes de trabajo y costos reales de ejecución y así poder compararlo contra el presupuesto inicial del proyecto.

1.3. Costos de proyecto

No todas las empresas cuentan con un control de costos de proyecto, muchas empresas se guían por la información generada por el departamento contable, pero esta no es suficiente para determinar los costos de ejecución puesto que tiene otro enfoque. A pesar que hay muchos métodos para el control de costos profundizaremos en el método ABC.

1.3.1. Costos ABC

Este método para costeo de proyectos se denomina ABC por sus siglas en inglés *Activity Based Costing* y “Consiste fundamentalmente en asignar costos a los insumos necesarios para ejecutar todas las actividades de un proceso productivo” (Toro, 2010, p. 46). Este método de costos es ideal para aplicarlo a los proyectos viales en Guatemala, ya que la forma básica de contratación por parte de la DGC es por renglones de trabajo, los cuales están descritos en las Especificaciones Técnicas de Carreteras y Puentes y pueden ser fácilmente identificables y aplicables.

1.3.1.1. Costos directos

Este tipo de costo es el “Que pueden ser directamente reconocidos en un objeto de costo mediante un claro mecanismo cuantitativo de seguimiento” (Toro, 2010, p. 7). Aplicado al ámbito vial son todos los costos que influyen directamente en la ejecución de un renglón contractual, es decir, todos los costos que se

pueden identificar y cuantificar dentro de una misma actividad. Un ejemplo sería el cemento que se utiliza en la construcción de las cunetas colocadas a lo largo de la pista.

1.3.1.2. Costos indirectos

Es un tipo de costo que “Aunque están relacionados con un objeto de costo específico, no pueden ser reconocidos en éste mediante una simple fórmula económica” (Toro, 2010, p. 7). Dentro de este costo se encuentra la administración de un proyecto vial ya que es necesaria para la ejecución del proyecto, pero no puede asignarse específicamente a un renglón en particular.

Regularmente el costo indirecto de un proyecto vial es fijo, por lo que se debe tener en cuenta que crece directamente proporcional al tiempo que se ejecuta un proyecto.

1.4. Presupuesto de proyecto

El presupuesto es una herramienta de planeación y control de proyectos, podemos definirla como “Una coordinación general de las proyecciones financieras de todas las unidades integrantes de una empresa, calculadas para un período de tiempo determinado” (Toro, 2010, p. 107). Esta definición relaciona la proyección de costos con las unidades de trabajo, ya que como se definio en el inciso anterior los costos de un proyecto vial están integrados por las actividades definidas para los costos directos e indirectos de un proyecto.

De la misma forma en que se puede costear un proyecto vial con base en los renglones de trabajo, se puede presupuestar utilizando estos mismos renglones, esto es lo más recomendable para que cuando se comparen ambos

costos pueda hacerse de una forma coherente y permita comparar el comportamiento y uso de los recursos realmente utilizados para la ejecución del proyecto versus los recursos presupuestados antes de iniciar el proyecto.

1.5. Herramientas informáticas

Los proyectos viales en la actualidad son producto de la interrelación de muchos profesionales de la ingeniería y otras disciplinas, este desarrollo de la investigación toma lo más importante de la administración de proyectos llevada a cabo por un ingeniero vial y lo enriquece con todas las ventajas que ofrecen las actualizaciones tecnológicas y el avance del desarrollo de la ingeniería de datos.

1.5.1. Ingeniería de datos

La ingeniería de datos puede definirse de muchas formas según la fuente que se consulte, Aptude una empresa dedicada a proveer soluciones informáticas la define como las capacidades involucradas en hacer que los datos estén listos para ser utilizados por analistas de datos y científicos de datos. (Aptude, 2021)

Precisely, una empresa dedicada a la educación en línea la define como La compleja tarea de hacer que los datos sin procesar sean utilizables para los científicos de datos y los grupos dentro de una organización. (Precisely, 2021)

Existen muchas universidades en nivel global que ya incluyen esta especialización a nivel de licenciatura, por ejemplo la Universidad Politécnica de Yucatán en México ofrece la carrera Ingeniería en Datos, la *Unirsitat Politècnica de Catalunya* en Barcelona España ofrece un Grado en Ciencia e Ingeniería de Datos y a nivel local la Universidad del Valle de Guatemala ofrece la carrera de

Ingeniería en Ciencia de los Datos, todos estos programas académicos convergen en que los estudiantes deben estar preparados en la recopilación masiva de datos, almacenamiento, procesamiento, modelado y visualización de datos para toma de decisiones.

Con base en las definiciones anteriores podemos definir a la ingeniería de datos como el conjunto de capacidades humanas y herramientas informáticas que tienen como principal objetivo generar aplicaciones prácticas de recolección y análisis de datos con la finalidad de responder preguntas utilizando grandes conjuntos de información.

Para que la ingeniería de datos funcione deben existir mecanismos que permitan recopilar y validar la información generada en los proyectos viales, lo anterior con la finalidad de que el trabajo realizado tenga valor para toma de decisiones presentes y futuras, también debe haber mecanismos para aplicarlo a las operaciones generadas en el día a día de una ejecución.

1.5.2. Estructura de desglose de trabajo

Como ya se definió, el ciclo de vida de un proyecto tiene cuatro etapas (ver Figura 1), y para poder darle seguimiento a cada una de estas etapas se hace necesario almacenar información y procesarla de tal manera que pueda identificarse no solo a que fase del proyecto pertenece la información, sino a que actividad se está haciendo referencia.

La estructura de desglose de trabajo es conocida por sus siglas en inglés como WBS (*Work Breakdown Structure*) y puede definirse como un “árbol genealógico orientado al producto de los componentes del proyecto que organiza

y define el alcance total del proyecto” (Webster, 1994, p 8). Se puede abreviar la estructura de desglose de trabajo como EDT.

Por ser un árbol genealógico la EDT se compone de diferentes niveles siendo el primer nivel el objetivo principal de proyecto, este primer nivel engloba el objetivo del proyecto. El siguiente nivel en el árbol genealógico debe definir de forma detallada cada componente del proyecto y en consecuencia cada subnivel debe ser más detallado y específico a nivel que la jerarquía avanza.

Ya que los proyectos viales en Guatemala deben cumplir con las Disposiciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes se sugiere utilizar la estructura implícita en estas especificaciones como EDT; además la mayoría de proyectos viales cuenta con un listado de renglones de trabajo, agrupados según las divisiones de estas especificaciones, con la base anterior la construcción de una adecuada y eficiente EDT no debe ser tarea complicada al menos para los renglones que conformen el costo directo.

La EDT será funcional durante toda la ejecución del proyecto ya que con base en esta estructura se elaborará el presupuesto inicial de obra, asignando recursos para cada componente, además se dará seguimiento en los cierres periódicos que pueden ser mensuales o según la periodicidad que más convenga, y finalmente se procederá a cerrar el proyecto analizando cada tarea del EDT.

Tabla I. **Estructura de desglose de trabajo**

Nivel de Jerarquía	Descripción
Nivel 0	Objetivo del proyecto
Nivel 1	Tipo de costo
Nivel 2	División de las especificaciones 1
Nivel 3	Renglón 1

Continuación tabla I.

Nivel 3	Renglón 2
Nivel 3	Renglón 3
Nivel 2	División de las especificaciones 2
Nivel 3	Renglón 4
Nivel 3	Renglón 5
Nivel 3	Renglón 6

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla I, el objetivo de la EDT es definir una estructura que pueda replicarse todas las veces que sea necesario. En la estructura anterior en el nivel 1 se agregó el tipo de costo, ya que este puede variar entre el costo directo y el costo indirecto, pero es criterio del planificador la estructura final a utilizar.

Esta definición jerárquica debe hacerse cuando el proyecto está en la fase de conceptualización ya que utilizará desde la planificación del proyecto.

1.5.3. Big data

El avance tecnológico ha impactado la construcción de carreteras en Guatemala ya que hace 30 años, en la década de 1,990, no se contaba con equipos de cómputo directamente en las obras; hace 20 años en la década de los 2,000 empezaban a aparecer equipos de cómputo en las obras pero eran utilizados mayormente para la parte administrativa y no para la ejecución en si misma; desde hace más de 10 años ya se realiza un mejor control del proyecto utilizando medios informáticos, siendo el dibujo asistido por computadora y las hojas de cálculo las herramientas más utilizadas para la cuantificación y el seguimiento de la obra.

Esta revolución tecnológica ha causado que para el año 2018 Guatemala sea el país con más usuarios de internet en toda Centroamérica con 7.2 millones

de personas según un estudio realizado por Google, (2018) de estos usuarios 6.8 millones de personas acceden a internet desde un teléfono inteligente, siendo estos dispositivos electrónicos más potentes que las computadoras de hace 30 años, esto hace posible que desde un teléfono inteligente se pueda dar seguimiento al programa de trabajo, las horas efectivas que trabajo un equipo pesado y el conteo de las horas laboradas por los colaboradores en cada frente de trabajo.

Tener a tantos usuarios conectados a internet ha permitido el cambio de tecnologías ya que, anteriormente se utilizaban ondas de radios para la comunicación entre frentes de trabajo, y ahora se utilizan herramientas de mensajería como WhatsApp; que para el 2017 generaba en el mundo 38 millones de mensajes por cada minuto. (Greenpeace, 2017)

Podemos definir Big Data como datos muy variados, que se obtienen en volúmenes crecientes y a gran velocidad (Oracle, 2021). Esta definición engloba tres conceptos fundamentales variedad, volumen y velocidad, a esto se le conoce como las tres “v”.

1.5.3.1. Volumen

Cada día es generada gran cantidad de información, especialmente en los proyectos viales, las empresas que no registran el costo unitario de las actividades generalmente basan sus costos en los registros contables, en cambio sí se desea conocer el costo unitario de cada renglón de trabajo, se hace necesaria hacer una distribución del tiempo en que los recursos fueron utilizados en cada actividad.

Por ejemplo, si durante un día se afinó un tramo de excavación no clasificada de material de préstamo y, posteriormente se trabajó un tramo de sub-base; si se registra el costo contablemente se generará una planilla para el personal, un registro contable de depreciación de maquinaria y pagos por conceptos de diésel y materiales varios, es decir en un mes se registrará 10 líneas de transacciones.

En cambio, si el costo se registra por actividad esto implica que ocho personas, dos ayudantes, un operador de motoniveladora, cuatro pilotos de camión de volteo, un operador de excavadora, y seis equipos pesados, una motoniveladora, cuatro camiones de volteo y una excavadora deben distribuirse en dos actividades, además de los materiales involucrados en la actividad como diésel, palas, equipos de protección entre otros.

Además de los recursos descritos en el párrafo anterior se registraría en el costo directo de los recursos, implícitamente en estas dos actividades existen costos indirectos como el encargado del frente de afinamiento, la cuadrilla de topografía, el ingeniero residente y el ingeniero superintendente, esto registraría 52 líneas de actividades para los renglones descritos en el párrafo anterior en un solo día, para un mes trabajando se obtendrán solo para estos dos renglones de ejemplo 1,144 líneas de transacción.

Este ejemplo muestra cómo crece el volumen de información al aplicar la ingeniería de datos, mientras más detallado se tenga la EDT más recursos podrán asignarse.

1.5.3.2. Variedad

La variedad de datos radica en que los datos pueden ser generados por diferentes actores en el proyecto, por ejemplo, se puede registrar los hodómetros de los equipos, y al mismo tiempo dejar registro fotográfico de las actividades realizadas durante una actividad y adicional a estos datos tener un registro de los galones de material bituminoso inyectado en la producción de asfalto.

Todas estas gamas de datos se generan en las distintas personas encargadas de tomar estas lecturas, los hodómetros se levantan en el frente de colocación, el registro fotográfico puede hacerse tanto en el frente de colocación como en la planta de producción, y el registro de galones inyectados en la producción de mezcla asfáltica en caliente lo toma el departamento de control de calidad.

A pesar de la variedad de frentes desde donde se genera la información esta puede ser bien ubicada gracias a la estructura de desglose de trabajo, será responsabilidad del ingeniero encargado de la obra definir, orientar y distribuir la forma en que se debe recolectar la información y almacenarla.

1.5.3.3. Velocidad

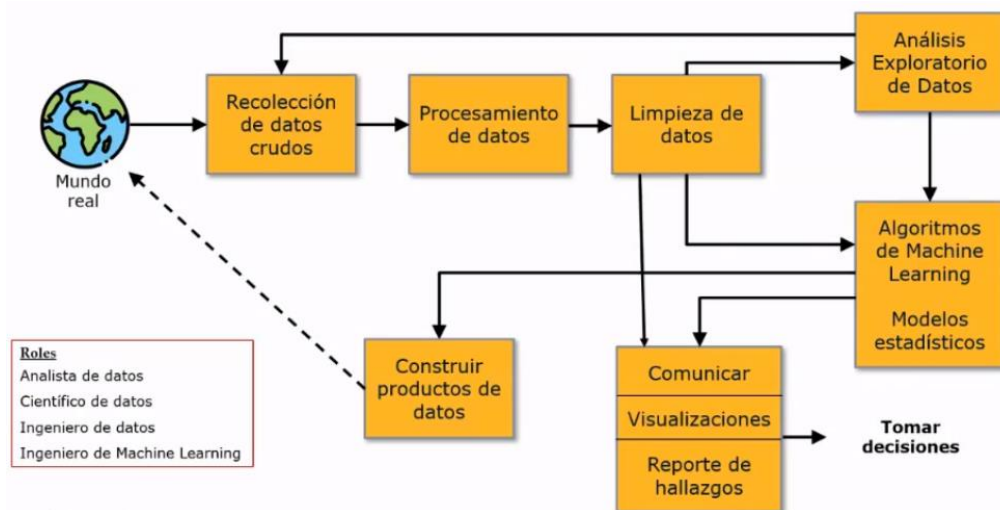
La velocidad con que se genera la información dependerá del avance de la obra. En algunos proyectos los factores externos como la topografía o el clima hacen que la producción disminuya mientras que otros factores como la disponibilidad de área de trabajo y la complejidad de este hacen que las jornadas laborales se prolonguen y sean más efectivas. Es por esta razón que se debe tomar el registro de las actividades que se desarrollan en el proyecto día tras día.

1.5.4. Ciencia de datos

La ciencia de datos es un campo de estudio que utiliza métodos científicos para extraer conocimiento, patrones y entendimiento de datos estructurados y no estructurados (Obregón Velásquez, 2020). La ciencia de datos también se enfoca en procesos más complejos como *Machine Learning* y el procesamiento del lenguaje, sin embargo, estos procesos escapan del alcance de este tema de investigación, ya que los datos generados en un proyecto vial pueden limitarse desde que se concibe el proyecto, y puede ajustarse al definir la estructura de desglose de trabajo.

La ciencia de datos está ligada al método científico, donde se formulan preguntas, investigación de fondo, formulación de hipótesis y con base en esto predecir los resultados y comunicarlos.

Figura 3. **Proceso de la ciencia de los datos**



Fuente: Obregón (2020) *Proceso de la ciencia de los datos*.

1.5.4.1. Pipelines

Todos los procesos descritos en la figura 3 se encuentran conectados por una construcción lógica, a esta construcción se le conoce como *pipelines*. Los pipelines de datos se caracterizan por definir el conjunto de pasos o fases y las tecnologías involucradas en un proceso de movimiento o procesamiento de datos. (Aprende Big Data, 2021)

Definir los pipelines se hace necesario debido a que si cada dependencia que ejecuta el proyecto vial genera su información de forma aleatoria y sin una estructura definida se hará muy complicado el proceso de recopilación y limpieza de datos. Actualmente hay empresas que prestan el servicio de limpieza y depuración de información, pero estos procesos informáticos son muy costosos.

Por esta razón se sugiere definir desde el inicio del proyecto todos los actores involucrados en la generación, recopilación y procesamiento de la información, esto apegado a los recursos que intervendrán durante la ejecución del proyecto vial.

1.5.5. Analista de datos

La información generada antes, durante y después de la ejecución de un proyecto debe ser procesada, limpiada y analizada por una persona que conozca del tema y los por menores de la ejecución, esto es fundamental ya que por concepto puede depurar información desde el origen, por ejemplo, si en un reporte de colocación de asfalto se encuentra un equipo de movimiento de tierras fácilmente se podrá identificar el error y corregirlo, asignado el recurso a donde corresponda.

El análisis de datos es el proceso de inspeccionar, limpiar, transformar y modelar un conjunto de datos para inferir conclusiones de la información contenida en estos, al utilizar sistemas y software especializado. (Obregón Velásquez, 2020) El análisis de datos se enfoca más en el pasado y en el presente, mientras que la ciencia de datos se enfoca más en el futuro. El análisis de datos tiene un enfoque más analítico mientras que la ciencia de los datos tiene un enfoque más científico.

El puesto de analista de datos puede ser desarrollado por un calculista, una persona que conozca los procesos internos de la ejecución del proyecto vial, y que además tenga criterio al momento de procesar un reporte. Esto hará que todo el proceso sea más fluido.

1.5.6. Ingeniero de datos

Las empresas informáticas grandes contemplan este tipo de perfil en su recurso humano, debido a que el ingeniero de datos crea las infraestructuras, *pipelines* y participa principalmente en los primeros procesos de recolección, procesamiento y limpieza de dato. (Obregón Velásquez, 2020).

Una infraestructura informática está formada por todos los equipos de cómputo (*hardware*) y por los programas de computadora (*software*) necesarios para ejecutar una tarea, en el caso de los proyectos viales se puede enumerar de la siguiente forma.

Para el *hardware* se puede listar:

- Computadoras portátiles
- Impresoras
- Plotters

- Cámaras fotográficas
- Drones
- UPS

Para el *software* se puede listar:

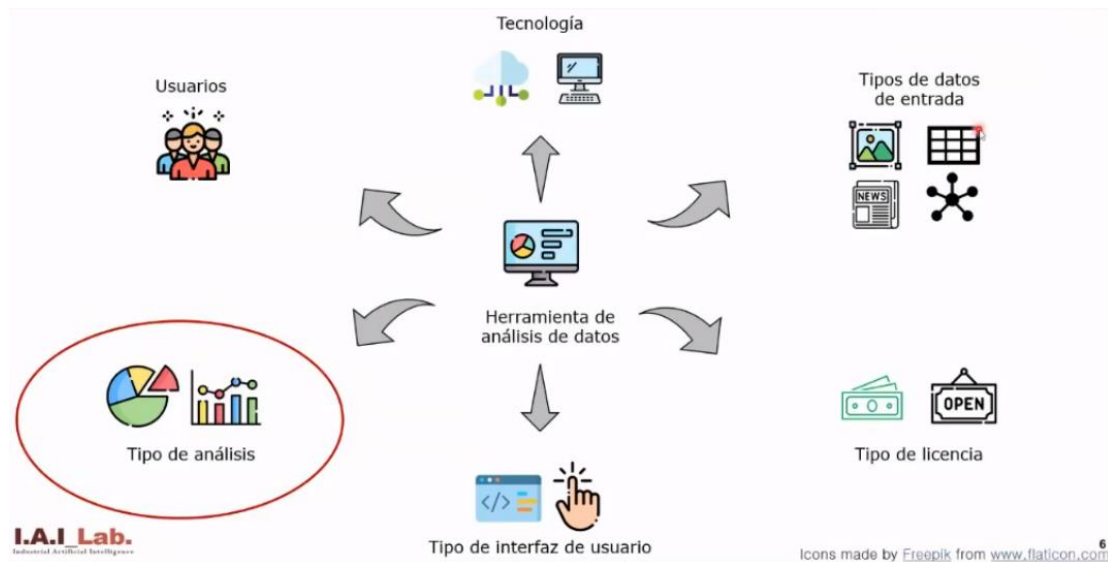
- Hojas de calculo
- Procesadores de texto
- Dibujo asistido por computadora
- Programas de edición de fotografía y video
- Herramientas de análisis de datos

Debido a que las actividades de los proyectos viales son finitas, es decir que se conoce el inicio, el fin y los recursos involucrados en la ejecución de cada actividad esta investigación pretende englobar el papel del ingeniero de datos

1.5.7. Software para análisis de datos

Como ya se mostró, la información generada en un proyecto vial puede ser tan variada como el origen de esta, la herramienta más común utilizada en un proyecto vial para el procesamiento y análisis de la información es la hoja de cálculo, en el medio guatemalteco la más utilizada es Microsoft Excel; esta herramienta es muy poderosa y a pesar de tener disponible muchos complementos tiene sus limitaciones al momento de correlacionar una gran cantidad de información.

Figura 4. Contexto de una herramienta de análisis de datos



Fuente: Obregón (2020). *Proceso de la ciencia de los datos*.

Para seleccionar una herramienta de análisis de datos se deben tener en cuenta los siguientes factores como se muestra en la figura 4, el primero es el grupo de usuarios que alimentará y usará la herramienta. El segundo son los tipos de datos con los que se alimentarán la herramienta, el tercero factor es el tipo de licencia que se desea obtener, en este punto se debe hacer hincapié en que se pueden obtener herramientas de código abierto, pero en algún punto se presentarán limitaciones en su uso.

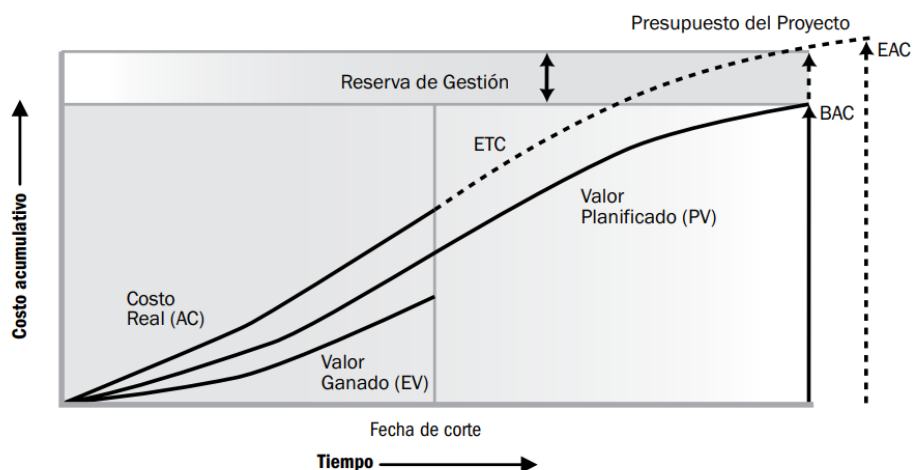
El siguiente aspecto tomar en cuenta es la interfaz de usuario, es decir que tan fácil será la curva de aprendizaje y el uso en sí mismo de la herramienta seleccionada. Y finalmente se deben considerar que tipos de análisis se desean hacer desde la herramienta.

1.6. Gestión del valor ganado

Esta es una metodología empleada en la administración de proyectos conocida por sus siglas en inglés como EVM (*Earned Value Method*). El *Project Management Institute* utiliza la traducción como Gestión del Valor Ganado (GVG) y la define como “una metodología que combina medidas de alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y el avance del proyecto” (PMI, 2013, p. 217).

La definición combina tres conceptos importantes para gestionar y/o administrar un proyecto: el primero es alcance, es decir el objetivo del proyecto, el segundo concepto es el cronograma en el que se hace referencia al tiempo de ejecución o al tiempo que se tiene planificado ejecutar el proyecto y por último esta definición engloba los recursos que se utilizarán para ejecutar el proyecto, con estos tres conceptos principales la GVG evalúa el desempeño, es decir la forma en que se está ejecutando el proyecto y este avanza para cumplir su objetivo.

Figura 5. Valor ganado, valor planificado y costo reales



Fuente: PMI (2013). *Fundamentos para la dirección de proyectos*.

La Gestión del Valor Ganado utiliza la gráfica conocida comúnmente como Curva S para evaluar el desempeño del proyecto, esto se logra al conocer los valores del Valor planificado y el costo real, la diferencia entre estos dos costos determina el valor ganado.

1.6.1. Variables para la GVG

El valor planificado identificado en la figura 5 por las siglas en inglés como *PV Planned Value* “es el presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado” (PMI, 2013, p. 218) es decir que el valor planificado es el costo presupuestado designado para la ejecución de una tarea en un tiempo específico, este valor planificado se debe definir para cada actividad.

La suma de todo el Valor Planificado se le conoce como Presupuesto hasta la conclusión BAC por sus siglas en ingles *Budget At Completion*.

El valor ganado mostrado en la figura 5 por sus siglas en inglés *EV Earned Value* se puede definir como “la medida del trabajo realizado en términos del presupuesto autorizado para dicho trabajo” (PMI, 2013, p. 218). El EV se puede interpretar como el costo ejecutado que se apega al presupuesto, supongamos que se presupuesto ejecutar 20 toneladas de mezcla asfáltica en caliente y al final del período se ejecutaron 23 toneladas de mezcla asfáltica en caliente el EV es el costo de las 20 toneladas ejecutadas, y no el costo de las 23 toneladas.

La figura 5 muestra el costo real por sus siglas en inglés *AC Actual Cost* y se define como “el costo incurrido por el trabajo llevado a cabo de una actividad durante un período de tiempo específico” (PMI, 2013, p. 218). En otras palabras el AC es costo total de una actividad en un período de tiempo, utilizando el ejemplo del parrafo anterior podemos decir el AC es el costo de las 23 toneladas.

1.6.2. Variaciones o desviaciones de la GVG

Con base en las variables definidas en 1.6.1 pueden calcularse dos variaciones con respecto al presupuesto que pueden utilizarse para gestionar un proyecto, estas son la variación del cronograma y la variación del costo.

La variación del cronograma se define como “una medida de desempeño del cronograma que se expresa como la diferencia entre el valor ganado EV y el valor planificado VP” (PMI, 2013, p. 224). Esta variación se expresa por sus siglas en inglés *SV Schedule Variance* y puede expresarse mediante la fórmula

$$SV = EV - PV$$

Debido a que es una resta aritmética entre dos valores el resultado de la diferencia tiene tres interpretaciones la primera es que si la diferencia es positiva podemos concluir que estamos adelantados con respecto al cronograma o presupuesto inicial, si la diferencia es cero significa que se cumple el cronograma, y si la diferencia es negativo esto implica que tiene un retraso de la ejecución de acuerdo con el cronograma o presupuesto inicial.

Con base en lo anterior se puede determinar que la variación del cronograma puede indicarnos si el proyecto se concluirá antes de la fecha establecida o también puede indicarnos si el proyecto tiene algún retraso tomando como base la fecha de finalización establecida en el presupuesto.

La variación del costo puede expresarse por sus siglas en inglés como *CV Cost Variance* y “es el monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado, expresado como la diferencia entre el valor ganado y el costo real” (PMI, 2013, p. 224). La variación del costo puede utilizarse para medir el

desempeño del proyecto utiliza el costo ejecutado y está expresada por la fórmula siguiente.

$$CV = EV - AC$$

Al igual que la variación del programa, la variación del costo puede identificarse de acuerdo con tres resultados, si la diferencia es positiva podemos concluir que la variación del costo está por debajo del costo planificado es decir se está haciendo una buena gestión del proyecto, si el resultado de la resta es cero significa que el costo ejecutado es igual al costo presupuestado y si la relación es negativa significa que la variación del costo está por encima del costo presupuestado.

Otro indicador que puede utilizarse para la GVG son los índices de desempeño del programa y del costo lo cuales se definen a continuación.

1.6.3. Índices de desempeño de la GVG

El índice de desempeño del cronograma SPI por sus siglas en inglés *Schedule Performance Index* y es una “medida de eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre el valor ganado y el valor planificado” (PMI, 2013, p. 224). Con este índice puede medirse el grado de eficiencia con que se está ejecutando el proyecto respecto al tiempo, para calcular este índice se utiliza la siguiente fórmula.

$$SPI = EV / PV$$

Si al efectuar esta división se obtiene un valor por debajo de 1 esto indica que la cantidad de trabajo llevada a cabo es menor que la presupuestada, en

caso contrario si el valor obtenido es superior a 1 esto significa que el trabajo efectuado es mayor al trabajo presupuestado.

El índice de desempeño del costo se representa por sus siglas en inglés *CPI Cost Performance Index* y puede definirse como “una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real” (PMI, 2013, p. 224). El PMI considera que esta ruta es la métrica más crítica del método del valor ganado y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado por medio de la siguiente fórmula.

$$CPI = EV / AC$$

Si el índice de desempeño del costo (CPI) es menor a 1 esto indica que el costo del proyecto es mayor que el costo planificado, si el valor del CPI es mayor que 1 esto indica que el costo del proyecto es menor que el costo planificado, si el valor es 1 esto significa que el costo ejecutado es exactamente igual al costo planificado.

Con los valores que se han definido hasta este punto se puede estimar el costo hasta la conclusión del trabajo por sus siglas en inglés este índice se denomina *EAC Estimate At Completion* y se define como “el costo total previsto de completar todo el trabajo, expresado como la suma del costo real a la fecha y la estimación hasta la conclusión” (PMI, 2013, p. 224). Esto indica que de continuar el proyecto como se está ejecutando hasta el momento se tendrá el EAC mediante la siguiente fórmula.

$$EAC = BAC / CPI$$

Hay que recordar que CPI puede ser mayor que uno cuando se está por debajo del costo planificado, es decir se ha ejecutado más de lo planificado esto impacta en EAC de forma positiva pues el costo estimado será menor al costo presupuestado, en caso contrario cuando CPI sea menor que uno, el costo ejecutado estará por encima del costo planificado, esto impactará negativamente al valor estimado para terminar ya que este valor será mayor al costo presupuestado.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La gestión del proyecto mediante ingeniería de datos se implementó durante el proyecto reposición de la mezcla asfáltica del tramo de Escuintla (Km 59) a Siquinalá (Km 81) ubicado sobre la ruta CA-2 occidente. Este tramo vial consta de cuatro carriles construidos con concreto asfáltico, este tramo es de suma importancia ya que conecta el occidente del país con el resto de la región, el tránsito pesado proveniente de México utiliza esta ruta para circular hacia el oriente del país.

Según el Instituto Nacional de Estadística el departamento de Escuintla es el segundo departamento con más accidentes de tránsito ocurridos desde el año 2,006 hasta el año 2020. (INE, 2021) Esta anotación es importante porque contribuye un factor externo a la gestión del proyecto ya que no solo se debe considerar una planificación adecuada de la ejecución del proyecto sino también se debe considerar la tasa de accidentabilidad en el tramo por ejecutar.

Figura 6. **Reposición de asfalto km 71, CA-2 Occidente**



Fuente: [Fotografía de Pablo Girón]. (Carretera a Occidente. 2022). Colección particular. Guatemala.

Otro aspecto por considerar para la gestión del proyecto fue el tránsito que circula por el tramo ya que se localiza en la zona de mayor producción azucarera del país y por el circulan vehículos de todo tipo con un tránsito promedio diario de 13,565 vehículos incluyendo el T3-S2 (2,150 vehículos) y T3-S2-R4 (230 vehículos) que transportan hacia el norte, centro y oriente del país una parte de la producción de azúcar para el consumo local y de exportación.

2.1. Equipo de trabajo

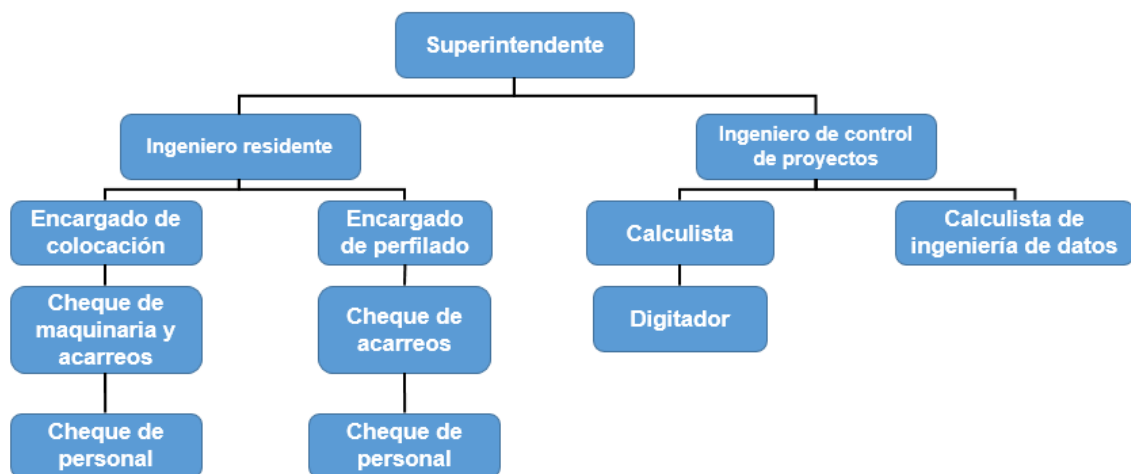
Para una correcta aplicación de la ingeniería de datos, se debe definir en la etapa de planificación dos áreas importantes del equipo de trabajo: el recurso humano involucrado en la implementación de la ingeniería de datos, y el recurso informático tanto el software como el hardware que será utilizado en el frente de trabajo y en la gestión de proyecto.

2.1.1. Recurso humano

La información generada por el proyecto vial debe ser recolectada, depurada y procesada por un equipo de trabajo con criterio y que esté familiarizado con los objetivos del proyecto. Por esta razón se debe asignar un equipo de personas, que sean los encargados de conceptualizar, generar los datos iniciales, recopilar la información de forma periódica y reportarla oportunamente para la toma de decisiones.

Para implementar la ingeniería de datos en este proyecto de reposición de mezcla asfáltica en caliente se determinó que la mejor forma de organizar el proceso de recolección de datos fue a través de un grupo de trabajo liderado por el ingeniero superintendente y que estuvo a cargo del ingeniero residente, este organigrama se muestra en la figura siguiente.

Figura 7. Organigrama propuesto para el control del proyecto



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se muestra una propuesta de organigrama de acuerdo con la estructura definida por la DGC, donde el ingeniero superintendente dirige el

proyecto, tanto a nivel administrativo, como a nivel de ejecución física, en consecuencia, se propone que un ingeniero residente se haga cargo directamente de los frentes de trabajo.

La estructura mostrada en la figura 7 permite que la conceptualización de la ingeniería de datos sea gestionada en conjunto por el ingeniero Superintendente del proyecto y el ingeniero residente. Es importante que el ingeniero residente es quien se sugiere esté a cargo del control del proyecto, esto es fundamental y a la vez de mucha ayuda, ya que si la conceptualización únicamente la hace una de las partes se tendrá una visión única de lo que se desea reportar, mientras que sí se hace en conjunto con la cabeza del proyecto se tendrá un panorama completo que puede ayudar a simplificar la información y, por lo tanto, los reportes finales.

Las actividades que deben realizar en conjunto el superintendente del proyecto y el Ingeniero residente de control de proyectos son:

- Elaboración del programa de trabajo
- Definición de los períodos laborales y asuetos
- Listado del personal que laborará en el proyecto
- Listado de maquinaria por utilizar
- Definición de la estructura de desglose de trabajo
- Elaboración del presupuesto inicial de obra
- Definición de formatos para reportes diarios.
- Interrelación con otros departamentos

La información que se considera más relevante es:

- Horas laboradas por el personal
- Horas laboradas por la maquinaria

- Registro de materiales
- Registro de gastos
- Cantidades ejecutadas por renglón de trabajo

Es importante mencionar que toda la información debe estar relacionada con la EDT se utiliza el identificador único para cada renglón de trabajo, en caso contrario no se podrá correlacionar con el resto de la información generada a lo largo del desarrollo del proyecto.

2.1.2. Recurso informático

Actualmente los recursos informáticos están al alcance de todos, por medio de inversiones financieras. Si bien es cierto que hay empresas que se dedican a la implementación de sistema de planificación de recursos empresariales (*Enterprise Resource Planning*) o ERP por sus siglas en inglés, también es cierto que estas soluciones son muy costosas.

Este proyecto de investigación se realizó utilizando equipo de oficina promedio, es decir: computadoras de escritorio y suites de oficina que están al alcance de cualquier empresa en Guatemala.

El hardware utilizado fueron computadoras de escritorio con procesador Intel core i5, cuatro gigas de RAM y 500 Gigabites de disco duro, el único requerimiento para el equipo de cómputo fue la hoja electrónica Microsoft Excel, adicionalmente para poder relacionar los datos de una forma más eficiente y rápida se instalaron dos complementos para Microsoft Excel.

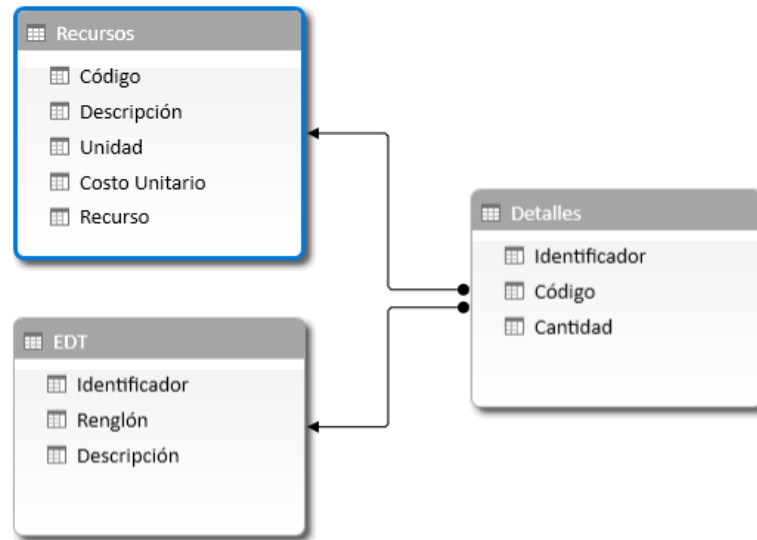
El primer complemento instalado fue Power Query, este complemento es gratuito y principalmente sirve para extraer datos de fuentes externas a la hoja

de cálculo, en nuestro caso los datos extraídos fueron de otras hojas de Microsoft Excel, también sirve para transformar datos ya que si en el archivo origen existen muchas columnas de información con Power Query se puede transformar la selección a las columnas deseadas, y finalmente se pueden cargar los datos de otras hojas de Microsoft Excel a la hoja que se utiliza y esta información quedará vinculada al origen.

El segundo complemento que se utilizó fue Power Pivot, este complemento se utiliza para crear modelos de datos relacionados, es decir puede vincular dos o más archivos por medio de un identificador único, para esto se definió dos tipos de archivos el primer tipo es un archivo con “definiciones” estos archivos contiene un identificador único por cada fila que lo integra por ejemplo el archivo que contiene la EDT tiene un número limitado de filas, 45 para ser específicos. Otro archivo de “definiciones” es el que contiene los recursos del proyecto, este archivo contiene un identificador distinto que el utilizado para la EDT y tiene un listado con los recursos de mano de obra, materiales y maquinaria que está disponible para la ejecución del proyecto.

El otro tipo de archivos usado es el que contiene el detalle de la ejecución, es decir una integración línea por línea de lo ocurrido en un período de tiempo, este archivo contiene el identificador de la actividad definido en la EDT y el identificador del recurso utilizado por lo tanto se le denomino archivo de “detalle”. Power Pivot relaciona el archivo de “definiciones” con el archivo de “detalle” por medio de los identificadores, tal como lo muestra la siguiente figura.

Figura 8. **Modelo relacional utilizando Power Pivot**



Fuente: elaboración propia.

La figura 8 muestra el modelo relacional utilizado para este desarrollo de investigación, cada cuadro mostrado representa un archivo de Microsoft Excel que fue cargado a una hoja electrónica utilizando Power Query. Una vez cargados los datos se procedió a relacionar los archivos utilizando Power Pivot, del lado izquierdo se encuentran los archivos de “definiciones” como los recursos y la EDT y del lado derecho se encuentra el archivo de detalles el cual se relaciona con los archivos de “definiciones” por medio de los identificadores únicos definidos para cada archivo.

Este modelo relacional es de suma importancia ya que permite conectar toda la información contenida en los archivos por medio de los identificadores únicos definidos por el equipo de trabajo para cada archivo de “definición”, permitiendo esto extraer la información de forma que sea comprensible e interpretable para cualquier persona.

2.2. Estructura de desglose de trabajo

Los proyectos viales en Guatemala se construyen siguiendo las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, del CIV cuya última publicación autorizada entro en vigencia a partir de septiembre del 2,001. Estas están divididas en once divisiones principales.

Tabla II. **Divisiones principales de las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes**

División	Descripción
100	Disposiciones generales
150	Requerimientos del proyecto
200	Movimiento de tierras
250	Terraplenes estructurales
300	Subbases y bases
400	Pavimentos asfálticos
500	Pavimentos rígidos
550	Estructuras
600	Estructuras de drenaje
700	Construcciones complementarias
800	Aspectos ambientales

Fuente: Dirección General de Caminos, (2001). *Construcción de carreteras y puentes*.

Cada una de estas divisiones detalla secciones con especificaciones particulares para una tarea en específico.

Tabla III. **Secciones de la división 400 pavimentos asfálticos**

Sección	Descripción
401	Pavimento de concreto asfáltico en caliente
402	Pavimento de concreto asfáltico reciclado en caliente
403	Mezcla asfáltica en frío
404	Tratamientos asfálticos superficiales
405	Sellos asfálticos
406	Sellado de grietas y bacheo del pavimento existente
407	Riego de imprimación

Continuación tabla III.

408	Riego de liga
409	Geos sintéticos para pavimentación
410	Arena asfalto
411	Asfaltos modificados

Fuente: Dirección General de Caminos (2001). *Construcción de carreteras y puentes*.

La sección 401 pavimento de concreto asfáltico en caliente contiene las especificaciones generales que debe cumplir la mezcla asfáltica en caliente, para este caso en particular existen dos renglones de trabajo que encuentran sus especificaciones en esta sección, el primer renglón es el 401.20 (a) concreto asfáltico por volumen y el segundo renglón es el 401.20 (c) cemento asfáltico.

Es importante identificar cada división, cada sección y cada renglón de trabajo proporcionado por las especificaciones porque a partir de esta estructura se construirá la EDT. Se puede ser tan específico como el planificador lo desee, pero se sugiere que la última jerarquía sean los renglones de trabajo, esto ayudará a que los datos generados sean asignados a cada renglón de trabajo.

Adicionalmente a las divisiones establecidas por las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes se utilizó la división del costo directo y el costo indirecto, esta jerarquía se consideró superior a las divisiones de las especificaciones englobando todos los renglones de trabajo dentro del costo directo, y dentro del costo indirecto se consideraron todas las actividades necesarias para la gestión del proyecto vial, pero que no afectan directamente los renglones de trabajo, entre estas actividades del costo indirecto se encuentran las actividades realizadas por la cuadrilla de topografía, las actividades realizadas por los laboratoristas encargados del control de calidad y las actividades de seguridad y vigilancia.

Una vez establecida la EDT se debe definir un indicador único para cada actividad y para cada nivel de jerarquía, este identificador único e irrepetible es el campo que servirá de enlace para relacionar la información recolectada.

Tabla IV. **Ejemplo de estructura de desglose de trabajo**

Identificador de costo	Renglón	Descripción
1		Reposición de mezcla asfáltica en caliente
1.1		Costo directo
1.1.1		Pavimentos asfálticos
1.1.1.1	401.20 (a)	Concreto asfáltico en caliente
1.1.1.2	401.20 (c)	Material bituminoso
1.1.1.3	408	Riego de liga
1.1.1.4	208.05	Acarreo de concreto asfáltico
1.1.2		Dispositivos de señalización
1.1.2.1	707.01	Pintura termoplástica para línea central
1.1.2.2	707.02	Pintura termoplástica línea no central
1.1.2.3	707.03	Dispositivos de señalización nocturna
1.2		Costo indirecto
1.2.1		Topografía
1.2.1.1		Sueldos y prestaciones
1.2.1.2		Combustibles
1.2.1.3		Depreciación de equipo

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en el ejemplo anterior no es recomendable utilizar el renglón de trabajo como identificador único, ya que en la mayoría de casos el renglón de trabajo combina número y letras para los renglones que pertenecen al costo directo, y para el costo indirecto no se tiene una definición del renglón de trabajo estandarizado, por esta razón es más conveniente utilizar números jerárquicos correlativos.

2.3. Etapas de aplicación

La investigación mostro que la ingeniería de datos puede ser aplicada a todos los procesos que puedan representarse digitalmente durante la ejecución del proyecto vial, sin embargo, para gestionar el proyecto y poder administrarlo de mejor forma, organizar el avance y la ejecución del proyecto, se implementó la ingeniería de datos en el monitoreo, control y seguimiento del costo del proyecto.

Para gestionar el avance del costo se definieron las siguientes etapas:

- Presupuesto inicial
- Ejecución del proyecto
- Actualizaciones al presupuesto
- Cierre del proyecto

2.3.1. Presupuesto inicial

Este presupuesto se elaboró un mes antes de iniciar los trabajos de ejecución y se hizo con base en los rendimientos de los equipos que se tuvieron disponibles. En este presupuesto inicial se consideraron los tiempos efectivos así como los tiempos de descanso y feriados locales, pero principalmente se elaboró el presupuesto tomando en cuenta los archivos de “definiciones” conceptualizados previamente estos archivos son EDT, recursos y fechas.

Tabla V. Recursos del proyecto

Código del recurso	Descripción	Unidad	Costo Unitario	Tipo del recurso
R1	Operador 1	Hora	35.00	Mano de obra
R2	Ayudante	Hora	17.00	Mano de obra
R3	Piloto	Hora	25.00	Mano de obra
R4	Diésel	Gls	27.50	Materiales
R5	Gasolina	Gls	29.50	Materiales
R6	Gas LP	Lb	1.25	Materiales
R7	Motoniveladora	Hora	350.00	Maquinaria
R8	Retroexcavadora	Hora	195.00	Maquinaria
R9	Pavimentadora	Hora	985.00	Maquinaria

Fuente: elaboración propia.

Para elaborar el presupuesto y sus actualizaciones es necesario definir los recursos disponibles que tiene el proyecto, la Tabla V muestra un ejemplo de cómo se definió la tabla de recursos, al igual que la EDT esta tabla contiene un identificador único que se denominó “Código del recurso” el cual será utilizado para elaborar el presupuesto

Tabla VI. Estructura de presupuesto inicial

Identificador de costo	Código del recurso	Cantidad mes 1	Costo mes 1	Cantidad mes 2	Costo mes 2
1.1.1.1	R1	285	Q 8,350	276	Q 7,980
1.1.1.2	R2	285	Q 8,350	276	Q 7,980
1.1.1.2	R2	285	Q 8,350	276	Q 7,980
1.1.1.3	R4	285	Q 8,350	276	Q 7,980

Fuente: elaboración propia.

La tabla VI muestra la estructura del presupuesto inicial, como se puede apreciar para las actividades y para los recursos únicamente se utilizan los identificadores, para los meses se debe considerar la cantidad de tiempo utilizado y el costo que este representa para cada mes, es necesario programar todas las actividades ya que este presupuesto será el punto de partida para la gestión del proyecto.

2.3.2. Ejecución del proyecto

Durante esta etapa del proyecto se registraron las horas laboradas por el personal, la maquinaria y los materiales correspondientes a las actividades definidas en la EDT, esta información debe ser recolectada desde el origen tomando en cuenta que en su mayoría es registrada por el personal de campo y posteriormente tabulada por el personal de oficina.

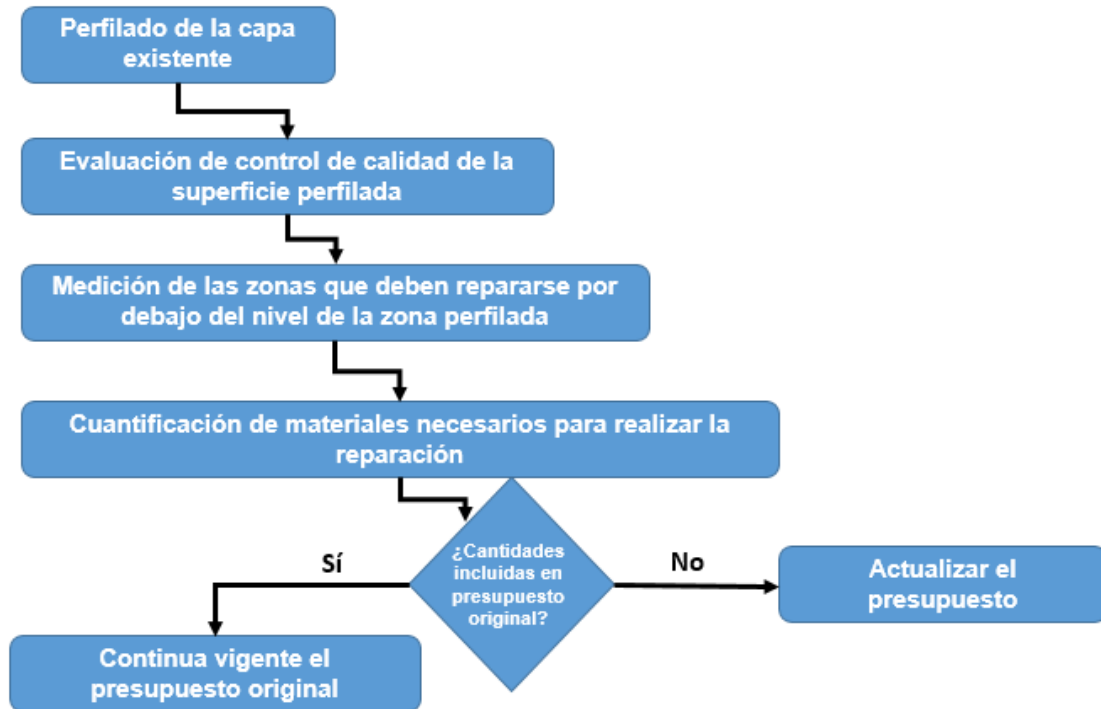
Es importante mencionar que la información debe contar con la fecha en que se registró la actividad, el identificador de la actividad y el código del recurso utilizado.

2.3.3. Actualizaciones al presupuesto

Debido a que el presupuesto es una condición ideal muy distante de la ejecución fue necesario implementar ajustes al presupuesto durante la ejecución del proyecto. Estos cambios fueron registrados por el grupo de trabajo a cargo del control del proyecto para actualizar el punto de comparación y darle seguimiento a la gestión del proyecto.

Para esta actualización del presupuesto se hace necesario elaborar una estructura similar a la mostrada en la tabla VI, en donde se registren las actividades, recursos y tiempos que se desean ajustar, una vez realizadas estas actualizaciones se debe actualizar el presupuesto inicial, y así se contará con un presupuesto nuevo.

Figura 9. **Flujograma para actualizar el presupuesto original**



Fuente: elaboración propia.

Quando existen cambios en las cantidades originalmente cuantificadas e incluidas en el presupuesto inicial deben actualizarse las cantidades que se observan en la Tabla VI. Este nuevo presupuesto se considera como el vigente a partir de la fecha de evaluación.

2.3.4. Cierres parciales

De acuerdo con la complejidad del proyecto que se está ejecutando y los imprevistos que surgieron durante su ejecución es imprescindible realizar cierres parciales de costos generales del proyecto. Con el objetivo de tomar conclusiones y decisiones para mejora de procesos de campo y administrativos. La periodicidad en realizar estos cierres parciales dependerá de distintas

situaciones, entre ellas: el tipo de proyecto, su complejidad, la experiencia de sus ejecutores, la confiabilidad del equipo, entre otros. Se sugiere que estos cierres parciales no sean mayores a quince días.

Para implementar una confiable ingeniería de datos durante la ejecución de este proyecto, se necesitó una adecuada recolección de datos, una identificación eficiente de costos y un análisis profesional durante los cierres parciales.

2.3.5. Cierre del proyecto

Al finalizar la ejecución del proyecto se debe realizar el último cierre parcial del mismo, en el cual se debe analizar por cada uno de los renglones los recursos utilizados, los rendimientos obtenidos, las medidas correctivas tomadas, los materiales utilizados y los costos directos e indirectos finales del proyecto.

Los datos generados por la ingeniería de datos del proyecto se utilizaron para elaborar una bitácora o registro de información que puede ser consultada a futuro. Esta información debe contener los aspectos más relevantes que puedan servir para una futura incursión, como lo son costos unitarios finales, tiempos de ejecución y rendimientos de los recursos utilizados.

2.4. Proceso de recolección de datos

El proceso de recolección de datos define las líneas de comunicación, periodicidad y contenido de la información que se desea recopilar para gestionar el proyecto y para representar este proceso de recolección (pipelines) se tomará como ejemplo la colocación de mezcla asfáltica en caliente.

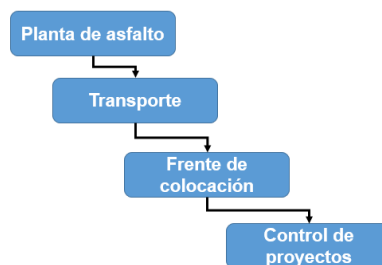
La mezcla asfáltica en caliente (MAC) es fabricada en la planta de producción del proyecto, en este proceso de fabricación se involucra todo tipo de recursos como personal, maquinaria, materiales e insumo.

La planta de asfalto fabrica la MAC y esta se carga en camiones de volteo que transportan la MAC hasta el punto de colocación, una vez allí se procede a descargar la MAC en la pavimentadora y se procede a colocar la MAC. Posterior a la colocación se debe esperar que la MAC alcance la temperatura de compactación y una vez alcanzada esta temperatura se procede a compactar.

En esta breve descripción está involucrado al menos cuatro áreas de trabajo y todos generan información importante para la gestión del proyecto, estos departamentos son: planta de asfalto, laboratorio en planta, transporte, laboratorio de campo y frente de trabajo.

Para poder definir los pipelines se elaboró el proceso de recolección de datos mostrado en la figura siguiente.

Figura 10. **Proceso de recolección de datos para fabricación y colocación de MAC**



Fuente: elaboración propia.

Cada área de trabajo descrita en la figura 10 genera información que enriquecerá el pipeline de la actividad de colocación de la MAC. Toda esta

A continuación, se muestra la información generada en cada una de las áreas descritas en la figura 10.

EMPRESA		VALE:		76	
PLANTA DE ASFALTO					
CLIENTE:	0001	MINISTERIO DE COMUNICACIONES			
PROYECTO:	0018	ESC-SIQ			
FECHA:	27/11/2019	HORA. . :	05:42	VIAJE:	2
				MEZCLA:	D4
CAMION:	CAM-003	<div>BRUTO: 16.14</div> <div>TARA: -</div> <div>NETO: 16.14</div> <div>ACUMU: 32.66</div>			
PILOTO:	MOISES SALAZAR				
TEMPERATURA DE SALIDA:	320 F				
TEMPERATURA DE LLEGADA:					
COLOCADO EN ESTACION:		AL:			
OBSERVACIONES:					
F. _____	OPERADOR PLANTA DE ASFALTO		F. _____	PILOTO TRANSPORTISTA	
F. _____	CHEQUE FRENTE DE COLOCACION		F. _____	SUPERVISOR	

En la figura 11 se muestra el vale de despacho de MAC generado por la Planta de asfalto del proyecto, aquí se puede observar el cliente, el nombre del proyecto, la fecha, la hora de salida el número de viaje, el número del vale, la cantidad en toneladas de MAC que transporta la unidad, el acumulado de MAC, la temperatura de salida y la firma del operador de la planta de asfalto. Los campos en blanco son llenados a medida que la MAC es recibida en cada una de las áreas.

Figura 12. Vale de despacho de MAC recibido por área de transportes

EMPRESA PLANTA DE ASFALTO		VALE: 76	
CLIENTE:	0001	MINISTERIO DE COMUNICACIONES	
PROYECTO:	0018	ESC-SIQ	
FECHA:	27/11/2019	HORA...:	05:42 VIAJE: 2 MEZCLA: D4
CAMION:	CAM-003		
PILOTO:	MOISES SALAZAR		
TEMPERATURA DE SALIDA:	320 F	BRUTO:	16.14 ✓
TEMPERATURA DE LLEGADA:		TARA:	-
COLOCADO EN ESTACION:	AL:	NETO:	16.14
OBSERVACIONES:		ACUMU:	32.66
F.	OPERADOR PLANTA DE ASFALTO	F.	PILOTO TRANSPORTISTA
F.	CHEQUE FRENTE DE COLOCACION	F.	SUPERVISOR

Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 se muestra el vale emitido por la Planta de Asfalto con la firma y revisión del piloto que la transporta.

Figura 13. Vale de despacho de MAC en frente de colocación

EMPRESA PLANTA DE ASFALTO		VALE: 76	
CLIENTE:	0001	MINISTERIO DE COMUNICACIONES	
PROYECTO:	0018	ESC-SIQ	
FECHA:	27/11/2019	HORA...:	05:42 VIAJE: 2 MEZCLA: D4
CAMION:	CAM-003		
PILOTO:	MOISES SALAZAR		
TEMPERATURA DE SALIDA:	320 F	BRUTO:	16.14 ✓
TEMPERATURA DE LLEGADA:	300° F	TARA:	-
COLOCADO EN ESTACION:	80+320 AL: 80+342	NETO:	16.14
OBSERVACIONES:		ACUMU:	32.66
F.	OPERADOR PLANTA DE ASFALTO	F.	PILOTO TRANSPORTISTA
F.	CHEQUE FRENTE DE COLOCACION	F.	SUPERVISOR

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se muestra el vale con la temperatura de llegada y la estación inicial y final donde fue colocada la MAC. De igual forma se observan las firmas del cheque de colocación y del supervisor.


Figura 14. Hoja resumen de la colocación de MAC del día

EMPRESA										
CONTROL DE COLOCACION DE MEZCLA EN PISTA										
FECHA: <u>27/NOV/2019</u>					LADO: <u>EDU. 200</u>					
TIPO DE MEZCLA: <u>54</u>					CAPA: <u>DEPOSICION</u>					
ESTACIÓN DE PLANTA: <u>82 + 980</u>					TRAMO: <u>80-50</u>					

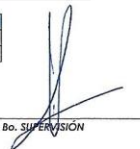
No.	No. DE VALE	CÓDIGO UNIDAD	ESTACIÓN INICIAL	ESTACIÓN FINAL	LONG.	ANCHO	TONELADAS COLOCADAS	TONELADAS ACUMULADAS	TEMP °F.	OBSERVACIONES
1	73	CM-01	80+871	80+820	21	4.0	16.52	16.52		LI
2	76	CM-03	80+520	80+34	21	4.0	16.14	32.66		
3	77	CM-02	80+341	80+367	26	4.0	20.40	53.06		
4	78	CM-11	80+367	80+312	25	4.0	19.80	72.86		
5	79	CM-12	80+312	80+125	33	4.0	25.28	98.14		
6	80	CM-14	80+425	80+469	34	4.0	26.76	124.90		
7	81	CM-6	80+469	80+465	26	4.0	20.26	145.16		
8	82	CM-7	80+465	80+518	33	4.0	25.46	170.62		
9	83	CM-8	80+518	80+347	29	4.0	22.41	193.03		
10	84	CM-9	80+347	80+579	32	4.0	25.07	218.10		
11	85	CM-10	80+579	80+613	34	4.0	26.15	244.25		
12	86	CM-01	80+613	80+646	33	4.0	25.50	269.75		
13	87	CM-02	80+646	80+674	28	4.0	21.77	291.52		
14	88	CM-03	80+674	80+708	34	4.0	26.06	317.58		
15	89	CM-11	80+708	80+735	27	4.0	21.53	339.11		
16	90	CM-12	80+735	80+765	33	4.0	25.36	364.47		
17	91	CM-14	80+765	80+795	27	4.0	21.77	386.24		
18	92	CM-6	80+795	80+823	28	4.0	21.81	407.55		
19	93	CM-7	80+823	80+850	33	4.0	23.78	431.33		
20	94	CM-8	80+850	80+885	29	4.0	22.15	453.48		
21	95	CM-9	80+885	80+918	33	4.0	23.89	477.37		
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										

CÓDIGO PETROUZADORA	VOLUMEN INICIAL	INGRESO	VOLUMEN FINAL	UGA	IMPRIMACIÓN	SALDO FINAL

EST. INICIO	EST. FINAL	LONGITUD	ANCHO	LADO	ESPESOR
80+271	80+918	619	4.0	120	0.07


 CHEQUE CONTRATISTA

NOMBRE: _____


 Vo. Bo. SUPERVISIÓN

NOMBRE: _____

Fuente: elaboración propia.

En este formato se resumen todos los vales emitidos por la Planta de asfalto en un día de colocación. Toda la información de este reporte es digitalizada por control de proyectos diariamente.

Definir el proceso de recolección de datos ayudará a gestionar el proyecto ya que permite identificar una trazabilidad de los datos y con esto se garantiza una pérdida menor de información.

2.5. Procesamiento de la información

Para la ejecución de este proyecto se contó con la participación de 132 colaboradores, y 64 equipos de maquinaria pesada, esto provocó que se generaran volúmenes grandes de información que, sin el apoyo de equipos de cómputo, no hubiera sido posible procesarlos y analizarlos.

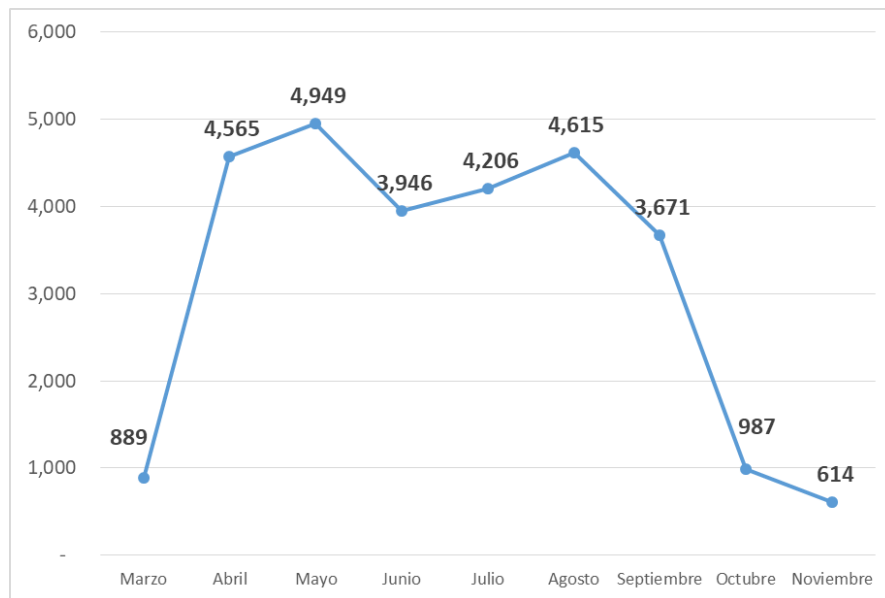
Tabla VII. Transacciones realizadas por mes

Mes	Mano de obra	Maquinaria	Materiales	Gastos
Marzo	569	119	155	46
Abril	2,425	628	1,349	163
Mayo	2,758	746	1,155	290
Junio	2,639	508	620	179
Julio	2,538	605	835	228
Agosto	2,611	746	1,016	242
Septiembre	2,157	586	719	209
Octubre	471	72	248	196
Noviembre	215	85	146	168
Total	16,383	4,095	6,243	1,721

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra que para los nueve meses que duró la ejecución del proyecto los datos fueron aumentando gradualmente hasta alcanzar un total de 28,442 transacciones para el registro de los costos y gestión del proyecto.

Figura 15. Volumen de información generado por mes



Fuente: elaboración propia.

En la figura 15 se aprecia cómo crece el volumen de información a lo largo del proyecto, si bien es cierto que el volumen de información no es como el que manejan las empresas de telecomunicaciones, también es cierto que para una empresa que gestiona proyectos viales este volumen de información es considerable, y debe ser procesada de una forma eficiente.

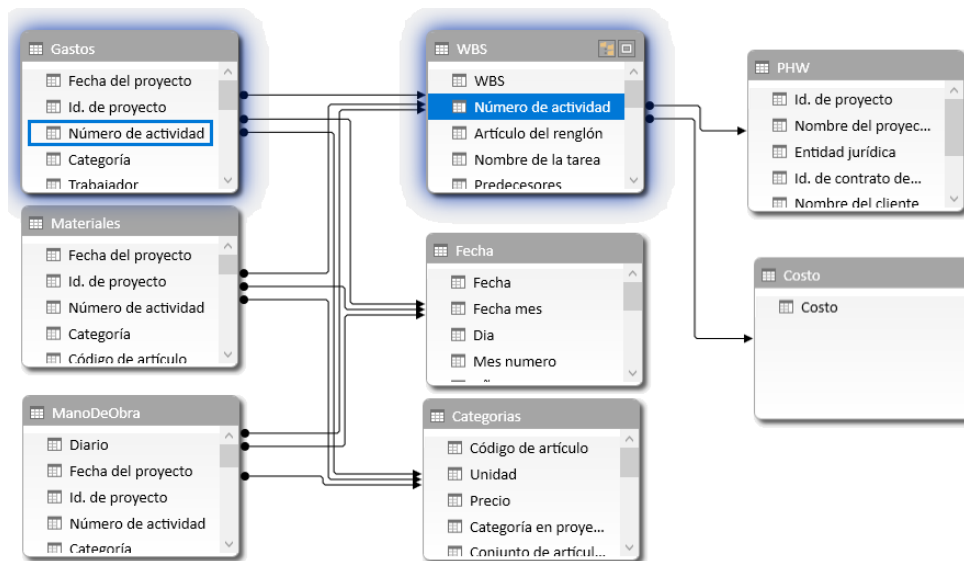
2.6. Integración y monitoreo de costo

Todas las definiciones, conceptos y procedimientos definidos durante este capítulo se integran aquí, ya que es a través del monitoreo del costo y el tiempo que se gestiona el proyecto implementando la ingeniería de datos. Lo anterior se

realiza con cada cierre parcial realizado periódicamente durante la ejecución del proyecto.

Para integrar el costo de cada actividad descrita en la EDT es necesario cuantificar los recursos utilizados registrando conjuntamente el tiempo en que fue ejecutada la actividad, esto se logró al implementar la ingeniería de datos de la siguiente forma.

Figura 16. Modelo relacional para integración del costo



Fuente: elaboración propia.

La figura 16 muestra en las columnas del lado izquierdo los archivos que contienen los detalles gastos, materiales y mano de obra que fueron utilizados durante la ejecución del proyecto, las columnas del centro muestran los archivos de definiciones utilizados, para este caso se utilizaron tres definiciones principales la primera es la EDT. La segunda es la fecha necesaria para contabilizar el tiempo de ejecución y compararlo con el tiempo presupuestado, y del lado derecho se encuentran los archivos de filtros, estos se utilizan cuando

se desea revisar únicamente un tiempo de costo, directo o indirecto o cuando se desea conocer el costo de un frente de trabajo.

Tabla VIII. Integración del costo

ID	Renglón	Nombre	ID Recurso	Cantidad	Costo
1.1.1.4	401.20 (c)	Material bituminoso	R1	2.8	8.38
			R18	4.34	43.12
			R120	0.10	50.60
			R121	222.52	4,630.90
			R5	5.05	106.77
			Costo total		4,839.77
			Producción durante el período		222.52
			Costo Unitario		Q 21.75

Fuente: elaboración propia.

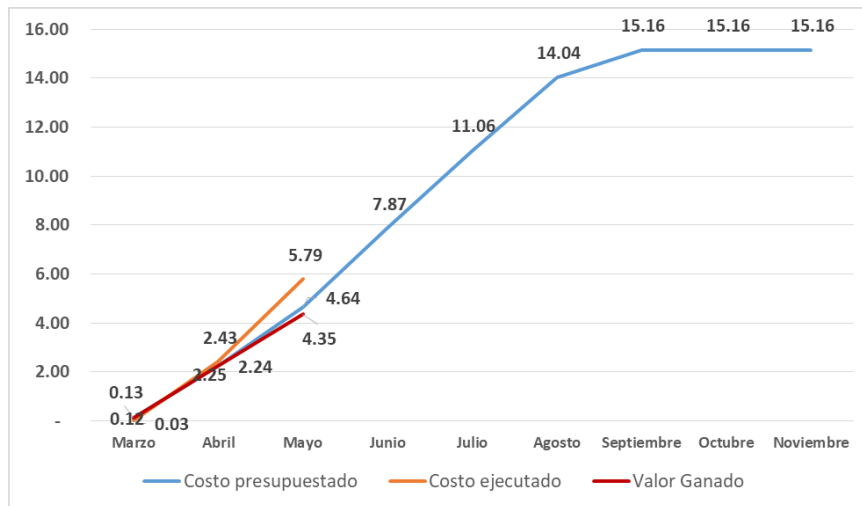
Al tener los recursos integrados en diferentes archivos se logra relacionar toda la información por medio de la ingeniería de datos obteniendo así un costo unitario de la actividad ejecutada en cualquier tiempo, ya que en los archivos de detalle se registró la fecha de ejecución o registro de los recursos, permitiendo así evaluar en una fecha conocida el costo ejecutado. Esto es muy útil ya que se puede determinar el costo unitario por cada semana y con esto se monitorea si el total de los recursos presupuestados ya fueron registrados en cada actividad, con esto se monitorea el avance de la ejecución.

2.7. Gestión del proyecto

Con la implementación de ingeniería de datos se puede gestionar y/o administrar el proyecto de una manera más eficiente valiéndose de herramienta complementaria que permitan determinar cómo se está ejecutando el proyecto y proporcione índices con las que se puedan tomar decisiones.

Para gestionar el proyecto se utilizó la Gestión del Valor Ganado debido a que se cuenta con toda la información del presupuesto y del costo del proyecto tanto en cantidades de trabajo como en tiempos de ejecución. Lo primero que se evaluó fue la curva S de la gestión del valor ganado.

Figura 17. Curva S de la GVG para el proyecto



Fuente: elaboración propia.

La figura 17 muestra en la línea color azul todo el presupuesto del proyecto, el cual se tenía previsto ejecutar en nueve meses, y en la línea color naranja se muestra el costo ejecutado al mes de mayo, con esta información se procedió a elaborar un cierre parcial para evaluar la situación del proyecto.

Para evaluar el proyecto utilizando la Gestión del Valor Ganado se procedió a determinar las variables que este método usa, estas son:

Valor planificado PV = Q 4.64 M

Valor Ganado EV = Q 4.35 M

Costo Actual AC = Q 5.79 M

Con base en estos valores se pueden determinar las variaciones del presupuesto y del costo mediante las fórmulas siguientes.

$$CV = EV - AC = 4.35 - 5.79 = -1.15$$

Si el valor de CV es positivo indica que la variación del costo se encuentra por debajo del costo planificado. Cuando CV es igual a cero no hay variación del costo con respecto al costo planificado. Y cuando CV es negativa el costo actual se encuentra por encima del costo planificado. La variación del costo es negativa en Q 1.15 M, es decir se ha ejecutado Q 1.15 M más del costo presupuestado para alcanzar la meta del mes de mayo.

$$SV = EV - PV = 4.35 - 4.64 = -0.29$$

Si el valor de SV es positivo indica que la variación del cronograma se encuentra adelantada con respecto al cronograma original. Cuando SV es igual a cero no hay variación con respecto al cronograma original. Y cuando SV es negativa existe un retraso con respecto al cronograma original. La variación del presupuesto también es negativa por lo que se puede concluir que la ejecución está retrasada con respecto al cronograma presupuestado.

Seguidamente se procedió a calcular los índices de desempeño para el cierre parcial que se evalúa, el primero es el índice de desempeño del costo CPI

$$CPI = EV / AC = 4.35 / 5.79 = 0.75$$

Si el CPI es mayor a 1 el desempeño del costo está por debajo del costo planificado. Si el CPI es igual a 1 el costo ejecutado es igual al costo planificado. Y si CPI es menor que 1 el desempeño del costo está por encima del costo

planificado. Para este cierre parcial el CPI es menor que 1, por lo tanto el desempeño del costo ejecutado está por encima del costo planificado.

En seguida se procedió a calcular el índice de desempeño del cronograma SPI.

$$SPI = EV / PV = 4.35 / 4.64 = 0.94$$

Cuando SPI es mayor que 1 se considera que el proyecto está adelantado con respecto al cronograma de trabajo. Si SPI es igual a 1 el proyecto está en tiempo dentro del cronograma de trabajo. Y si SPI es menor que 1 el proyecto se encuentra tiene un retraso respecto al cronograma de trabajo. Para este cierre parcial el índice del desempeño del cronograma indica que se ha tenido un 94 por ciento de eficiencia en la ejecución del programa de trabajo.

Finalmente se procedido a estimar el costo al finalizar el proyecto, para ello se utilizó el BAC mostrado en la figura 12 con un valor de Q 15.16 se aplica la fórmula:

$$EAC = BAC / CPI = 15.16 / 0.75 = 20.18$$

Al proyectar el índice del desempeño del proyecto se observa que de no tomar medidas correctivas el costo aumentará hasta un Q 20.18 M.

La información calculada anteriormente se utiliza para contestar preguntas del como ¿estamos dentro del programa de trabajo o estamos fuera? La respuesta se obtiene de la varianza del cronograma SV así “se está fuera del tiempo en un 29 %”.

Con el índice de desempeño del cronograma se puede responder a la pregunta ¿Qué tan eficiente se ha ejecutado el proyecto? Se ha ejecutado el proyecto con un 94 % de eficiencia.

Respecto al costo se puede contestar la pregunta ¿el proyecto está en presupuesto o desfasado? La respuesta se contesta con la varianza del costo CV la cual muestra que el proyecto está desfasado en Q 1.44 M.

Y finalmente la pregunta ¿Cuánto costará al final el proyecto? Se contesta con EAC con el cual se estima terminar el proyecto con un costo superior al presupuestado igual a Q 20.18 M, por lo que se deben tomar medidas correctivas inmediatamente.

2.8. Modelo y acceso de informes

Toda la información que se tiene registrada está en forma tabular, sin embargo, para poder gestionar el proyecto se hace necesario definir qué tipo de información es de más utilidad para cada usuario.

Como primer paso se deben definir los usuarios que tendrán acceso a la información, para definir estos usuarios se debe tomar en cuenta el puesto, el tipo de información y la periodicidad propuesta con que se presentarán los informes.

Tabla IX. **Usuarios de informes**

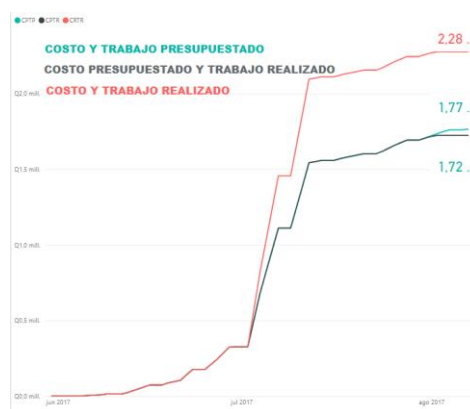
Usuario	Tipo de información	Periodicidad
Superintendente	Avance del proyecto (tiempo y costo)	Quincenal
Ingeniero residente	Cantidades ejecutadas vrs programadas	Quincenal
Administración	Horas del personal	Catorcenal

Fuente: elaboración propia.

La tabla IX muestra los usuarios y tipo de información que se consideró prudente para que cada usuario pueda gestionar de forma eficiente su área de trabajo.

Para el gestionar el avance del proyecto se elaboró la curva S del método del valor ganado específicamente para que el Superintendente del proyecto pueda visualizar de forma resumida el estado del proyecto quincenalmente, esto es posible porque cada tabla de detalles se alimenta no solo de los recursos del proyecto sin de la fecha en que fue utilizado el recurso, todos los recursos se presupuestaron mensualmente, sin embargo este reporte se elaboró quincenalmente para determinar si se necesita algún ajuste antes de que finalice el mes.

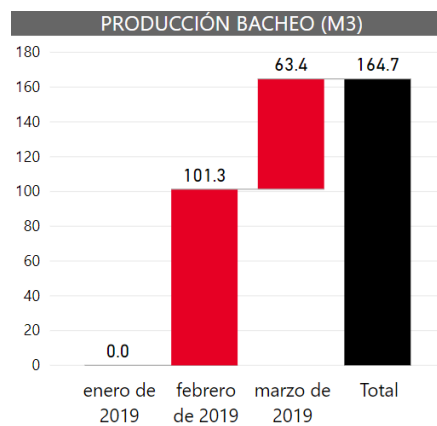
Figura 18. **Curva S de la gestión del valor ganado**



Fuente: elaboración propia.

Para este caso se puede observar que existe un avance significativo respecto al costo y tiempo presupuestado. En la figura 18 se muestra con una línea negra el presupuesto del proyecto y con una línea roja el avance real del proyecto. Para este período se puede ver que el proyecto se puede terminar en el costo y tiempo programado.

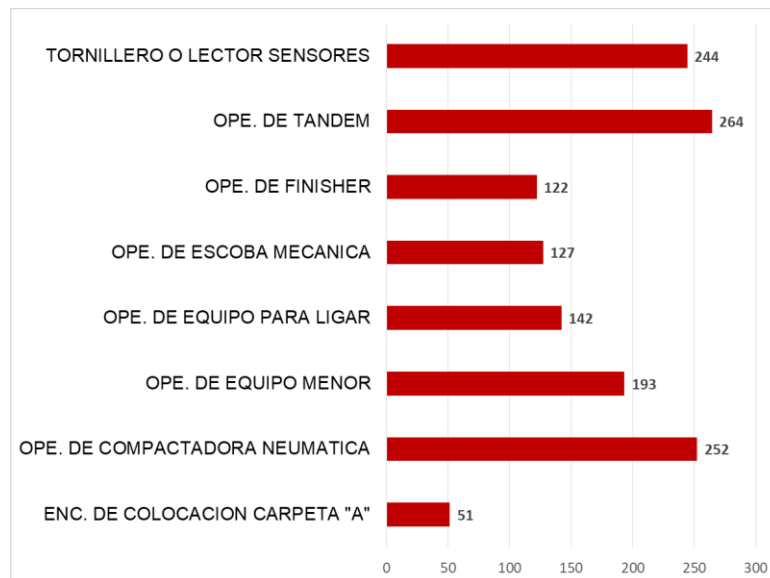
Figura 19. **Cantidades ejecutadas de bacheo**



Fuente: elaboración propia.

El reporte considerado para el ingeniero residente fue el de cantidades ejecutadas por cada renglón. La figura 19 muestra las cantidades ejecutadas versus programadas para el renglón de Bacheo, esto es necesario porque el ingeniero residente de campo debe conocer en todo momento las diferencias entre las mismas y así cumplir las metas.

Figura 20. **Horas laboradas del personal de colocación**



Fuente: elaboración propia.

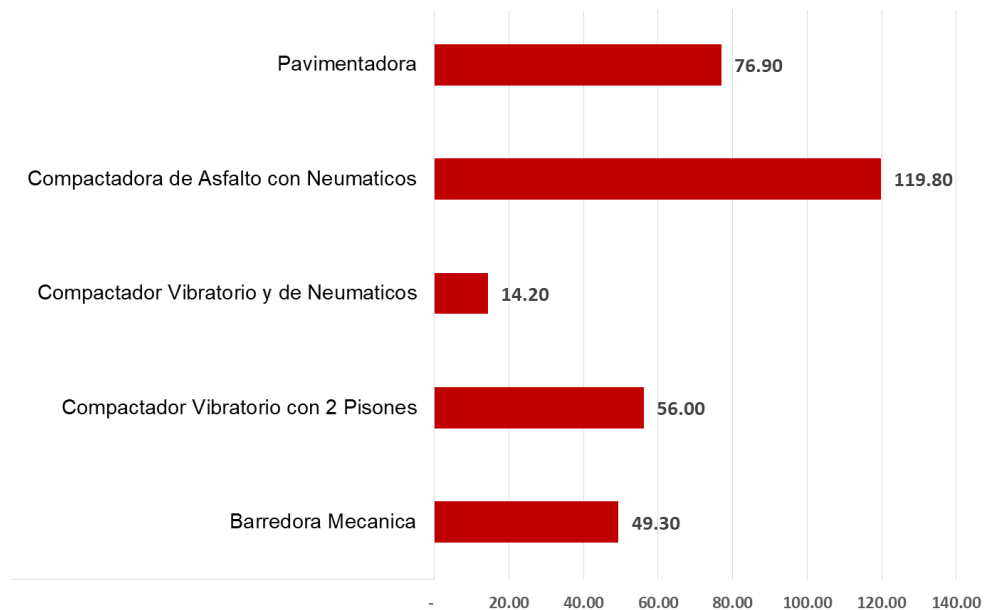
Para la administración del proyecto fue necesario conocer las horas laboradas de cada frente de trabajo. La figura 20 muestra las horas laboradas en un mes para el personal que laboró en el frente de colocación de MAC, se parte de la base que al mes cada colaborador labora 176 horas.

Con la figura 20 se puede ver claramente que los Tornilleros o lectores de sensores y el operador de compactadora neumática laboraron más de 200 horas, esto implica el pago de horas extras.

A través de la ingeniería de datos se puede visualizar este tipo de información de forma más eficiente y el encargado de la administración puede mostrar estas alertas antes de que el costo de mano de obra sea muy alto.

De la misma forma en que se pueden revisar las horas laboradas del personal, se pueden registrar y reportar las horas efectivas de la maquinaria utilizada para la ejecución del proyecto vial.

Figura 21. **Horas efectivas equipo de colocación de MAC**



Fuente: elaboración propia.

La figura 21 muestra las horas efectivas que fueron utilizadas por los equipos de colocación de MAC. Aquí se puede observar que la compactadora de asfalto con neumáticos sobre pasa las horas de la pavimentadora, esto se debe a que se utilizaron dos compactadoras con neumáticos. Si se divide entre dos las 119.80 horas reportadas se obtiene que cada compactadora laboro 59.9 horas.

Este tipo de información es importante que la conozca el ingeniero residente, pues con base en este reporte se pueden programar servicios menores, servicios mayores y a su vez presupuestar la compra de los insumos necesarios para que los equipos estén siempre en operación.

2.9. Resguardo de la información

Toda la información generada a lo largo de la ejecución del proyecto es valiosa pues servirá como referencia para futuras ejecuciones de proyectos

similares. Por esta razón es de suma importancia contar con un plan de resguardo de información que garantice que esta podrá ser recuperada e interpretada a futuro.

El primer paso por tomar en cuenta es el orden de la información, ya que la gestión del proyecto vial se hizo utilizando archivos de Microsoft Excel y no se utilizó ningún servicio de almacenaje de información externo. Se definió que todos los archivos tendrían una estructura de fácil interpretación, esta estructura inicia con la fecha de creación y actualización del archivo utilizan dos dígitos para el año, dos dígitos para el mes y dos dígitos para el día seguido por el nombre del archivo que hace referencia al contenido de este, de esta manera los archivos se ordenan cronológicamente.

Por ejemplo, el presupuesto inicial tuvo el siguiente nombre:




















- 190128 presupuesto inicial.xls

Los primeros dos dígitos (19 para este ejemplo) hacen referencia al año en que se elaboró el archivo, los dígitos en posición tres y cuatro (01 para este ejemplo) hacen referencia al mes en que se elaboró el archivo y solo pueden ser números entre el “01” y el “12”. Los dígitos en la posición cinco y seis (28 para este ejemplo) hacen referencia al día en que se elaboró el archivo, por lo tanto, este nombre de archivo se puede interpretar como “presupuesto inicial” elaborado el 28 de enero del 2,019.

Esto es muy útil ya que se debe tener un registro rastreable de los cambios efectuados a todos los archivos y como en la implementación de la ingeniería de datos se genera un número grande de archivos esta nomenclatura facilita la rastreabilidad de estos.

El segundo aspecto por considerar para el resguardo de la información es el orden y la nomenclatura de las carpetas donde se resguardará la información. Para este proyecto se utilizó un sistema que utiliza el alfabeto para ordenar las carpetas de la siguiente forma.

Figura 22. **Estructura de archivos utilizada para el resguardo de información**

Nombre ^	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 A	9/06/2021 09:57	Carpeta de archivos	
 B	9/06/2021 09:59	Carpeta de archivos	
 C	15/10/2021 08:21	Carpeta de archivos	
 D	27/09/2021 11:14	Carpeta de archivos	
 E	9/06/2021 10:00	Carpeta de archivos	
 F	27/10/2021 08:02	Carpeta de archivos	
 G	9/06/2021 10:30	Carpeta de archivos	
 H	9/06/2021 10:30	Carpeta de archivos	
 I	9/06/2021 10:30	Carpeta de archivos	
 K	9/06/2021 10:30	Carpeta de archivos	
 L	15/10/2021 10:42	Carpeta de archivos	
 M	9/06/2021 10:34	Carpeta de archivos	
 P	3/08/2021 09:42	Carpeta de archivos	
 R	19/10/2021 10:48	Carpeta de archivos	
 S	9/06/2021 10:57	Carpeta de archivos	
 T	9/06/2021 11:18	Carpeta de archivos	
 U	9/06/2021 11:18	Carpeta de archivos	
 V	10/08/2021 10:39	Carpeta de archivos	
 Z	17/08/2021 16:35	Carpeta de archivos	

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 22 las carpetas fueron creadas utilizando una letra del alfabeto, de tal forma que, si se desea guardar el reporte de “Horas” del personal, el archivo se guarde en la carpeta “H” y dentro de esta carpeta se crearon sub-carpetas con nombres más específicos, “Horas de personal”, “Horas de maquinaria” entre otros.

La idea de esta estandarización es que a futuro una persona pueda recuperar la información y utilizarla. Otro ejemplo es que si se desea conocer los costos se deben buscar en la carpeta "C".

Es importante mencionar que se realizaron copias de seguridad de todos los archivos del proyecto mensualmente.

Por último, se acordó que toda la información relacionada a la gestión del proyecto se guardara sin vínculos externos, es decir, que el archivo dependa de sí mismo.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La ingeniería de datos se utiliza para procesar una gran cantidad de información de diferente índole y origen que por sí sola no puede ser utilizada para gestionar un proyecto vial. Por esta razón, se complementó la ingeniería de datos con la gestión del valor ganado.

Debido a que los proyectos viales en Guatemala tienen una cantidad de renglones finitos, y las actividades que conlleva la ejecución de cada uno de estos también tienen un rango de acción finita, el concepto de Big Data no pudo aplicarse en toda su amplitud. Sin embargo, para la ejecución del proyecto y para el uso que un ingeniero civil requiere la cantidad de información si fue considerable. Se registraron un total de 2,815 archivos distribuidos en 409 carpetas y generaron un volumen de información de 9.24 Gb.

La estructura de desglose de tarea es fundamental no solo para aplicar la ingeniería de datos sino para ordenar todo lo ejecutado en el proyecto vial. Por esta razón se abordaron los conceptos básicos desde el marco teórico y en el desarrollo de la investigación se mostró como las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes pueden servir de base para crear una EDT adecuada al proyecto vial.

Para la implementación de la ingeniería de datos se utilizó una estrategia que no involucró personal especializado con la Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Todo se realizó con los conocimientos académicos universitarios adquiridos y la experiencia técnica en campo de los ingenieros civiles involucrados en la obra.

3.1. Metodología de gestión

Luego de concluir el proyecto se pudo definir que para la metodología de la aplicación de la Ingeniería de Datos es necesario cumplir con lo siguiente:

- Tener un equipo de trabajo con profesionales de la ingeniería que quieran cumplir sus objetivos en tiempo y costo.
- Realizar una estructura de desglose de tarea
- Definir las áreas en donde se aplicará la Ingeniería de Datos
- Diagramar el proceso de recolección de datos (*pipelines*)
- Definir la forma en que se procesará la información
- Realizar las integraciones de costo de cada renglón de trabajo para que sean el parámetro de monitoreo de los costos ejecutados.
- Evaluar periódicamente los índices de gestión del proyecto
- Determinar el tipo de informe por utilizar
- Definir el resguardo de la información

Al aplicar la ingeniería de datos en cada uno de estos pasos se obtiene la posibilidad de poder definir una estrategia en escritorio que permita designar el recurso que se utilizará para una tarea, mano de obra, maquinaria y materiales, y también el recurso más valioso que es el tiempo. Con esta posibilidad se puede evaluar tanto el costo como el desempeño de cada actividad o renglón de trabajo que finalmente conlleva a una optimización de los recursos.

Además de la implementación de la Ingeniería de Datos esta propuesta de metodología incorpora la Gestión del Valor Ganado como herramienta auxiliar para gestionar el proyecto vial.

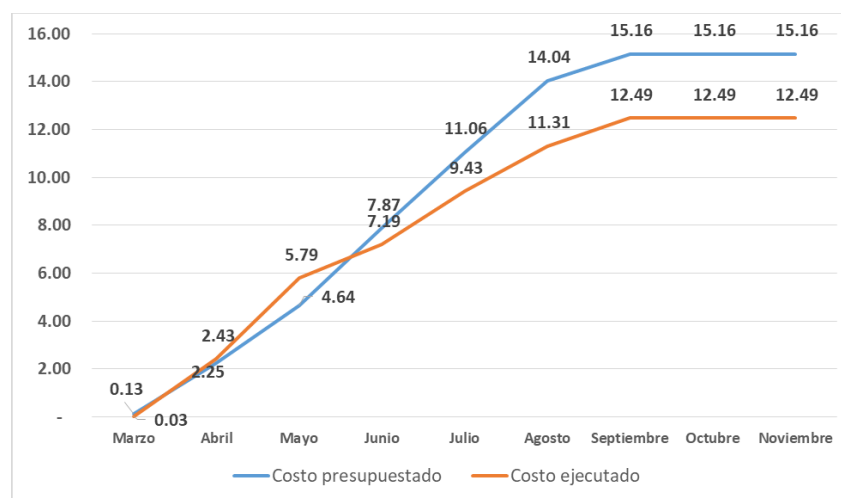
3.2. Análisis de la gestión del proyecto

Para gestionar el proyecto vial se utilizó la gestión del valor ganado y esto fue posible ya que se contaba con toda la información disponible para ser analizada de una forma versátil e inmediata.

En ejecuciones anteriores se trató de implementar la gestión del valor ganado se usó Microsoft Project, pero no se obtuvo el resultado deseado ya que la asignación de los recursos para cada actividad debía hacerse de forma porcentual para poder obtener una distribución del recurso para varias actividades.

Con la ingeniería de datos se registran cantidades, horas o unidades de materiales, cuyos costos son asignados directamente a las actividades donde fueron utilizados en un tiempo específico. Esto no solo evita la distribución porcentual sino asigna exactamente el costo y tiempo.

Figura 23. Curva S del proyecto total



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 23, el costo ejecutado total fue menor que el costo presupuestado total. Para el mes de mayo el costo fue mayor que el presupuestado, este cambio fue identificado a tiempo y se tomaron medidas correctivas que permitieron que en el mes de junio regresara la curva a la ejecución normal.

Los valores utilizados para la gestión del valor ganado como el valor planificado, valor ganado y el costo actual pueden ser contabilizados de una forma íntegra, es decir tomando todos los valores registrados y esto permite una gestión del proyecto apegada a la realidad.

4. ANÁLISIS DE COSTOS

Las herramientas empresariales de planeación ERP por sus siglas en inglés (*Enterprise Resource Planning*) no solamente integran la ejecución del proyecto, sino que dependiendo del proveedor puede integrar los departamentos contables y bodegas entre otros. En el medio guatemalteco existen tres softwares especializados líderes en ERP, estos son SAP, Microsoft Dynamics AX y Oracle cada uno de estos softwares tiene un precio aproximado en licenciamiento cercano a los US\$ 200,000.00.

Adicionalmente al licenciamiento se debe considerar el costo del hardware sobre el cual se instalará el ERP para lo cual como mínimo se necesitan dos servidores uno de base de datos y otro donde se instalará el ERP, este costo aproximado es de US\$ 20,000.00

Por último, debido a que estos ERP son muy versátiles, se deben adaptar a las necesidades de cada empresa. Esta adaptación tiene un costo de US\$ 60.00 y en promedio se estima un total de 950 horas para esta adaptación. Esto permite personalizar a un costo elevado todas las funciones generales que incluyen los ERP de tal forma que se integre con la forma de trabajo de cada empresa.

En contraparte esta implementación de ingeniería de datos se desarrolló con el uso del recurso humano, recurso informático descrito en 2.1.1 y 2.1.2. La inversión realizada en equipo de cómputo fue de Q 25,000.00, cerca de US\$ 3,250.00 y por el licenciamiento de las suites de oficina se invirtió un costo de Q 6,200.00, equivalente a US\$ 800. Al contabilizar todo el recurso humano

invertido durante el tiempo de ejecución se obtuvo la suma de Q 154,000.00, equivalente a US\$ 20,000.00.

Tabla X. **Comparativo de costos de implementación**

Descripción	ERP	Implementación de ingeniería de datos
Licenciamiento	US\$ 200,000.00	US\$ 800.00
Hardware	US\$ 20,000.00	US\$ 3,250.00
Desarrollo	US\$ 57,000.00	US\$ 20,000.00
Total invertido	US\$ 277,000.00	US\$ 24,050.00

Fuente: elaboración propia.

La tabla X muestra la diferencia entre el costo de un ERP y la implementación de Ingeniería de Datos realizada para este proyecto. La inversión representa un 8.68 % con respecto al desarrollo con un ERP.

Es importante mencionar que el ERP puede integrar no solo la ingeniería de datos, sino también toda la administración de la empresa. Sin embargo, para poder integrar la ingeniería de datos al ERP se hace necesario incrementar las horas de desarrollo. Adicionalmente a esto se debe tomar en cuenta que estos ERP tienen costos anuales por actualización del software que de no realizarse quedan desactualizados.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para este proyecto la implementación de la Ingeniería de Datos se implementó organizando una estrategia que no involucró personal especializado con la Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Todo se realizó con los conocimientos académicos universitarios adquiridos y la experiencia técnica en campo de los ingenieros civiles involucrados en la obra.

Los resultados obtenidos para las variables de la gestión del valor ganado tienen la ventaja de ser cien por ciento fidedignas, ya que los recursos se distribuyen en su totalidad a sus respectivas actividades, este caso no ocurre en empresas que deciden utilizar únicamente el costo contable pues para el monto de mano de obra solo disponen del total pagado en la planilla de un colaborador y este monto no contempla las actividades en las que el colaborador laboró.

La gestión del proyecto vial se hizo a través de las variables y los indicadores descritos para la gestión del valor ganado, sin embargo, existen otros indicadores que no fueron abordados pues únicamente se tomó en cuenta el índice de desempeño del cronograma SPI, el índice de desempeño del costo CPI, y el Costo estimado para completar el proyecto EAC.

Implementar la ingeniería de datos tuvo un costo accesible si se compara con el costo de implementar un ERP, esto es muy ventajoso ya que para las licencias de las suites de oficina adquiridas tienen un costo único y toda la configuración elaborada por la metodología descrita en 3.1 puede ser replicada para proyectos similares, no importando si tiene los mismos renglones o actividades. Únicamente se debe adaptar la nueva EDT.

Existen muchas herramientas para la gestión de proyectos, actualmente estas herramientas pueden implementarse en los dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas, etc. Pero ninguna de estas herramientas puede integrar todo el costo y todo el tiempo de ejecución como la implementación de Ingeniería de Datos.

Para esta implementación de ingeniería de datos es necesario considerar un monto de licenciamiento para suites de oficina, el cual puede ser accesible para casi cualquier empresa, esto garantiza la integridad del software y también garantiza que al seguir protocolos de seguridad se reducirá la pérdida de información.

Contar con un equipo de trabajo dedicado específicamente para la gestión del proyecto y para la implementación de la ingeniería de datos garantiza que los controles programados sean procesados y entregados a tiempo. Esta acción brinda herramientas que son de utilidad para el personal que tiene la ejecución del proyecto en las distintas áreas de trabajo.

Se ahorra tiempo en el proceso de recolección e interpretación de resultados al contar con un proceso de recolección de datos bien definido en donde cada integrante del proceso tiene claro que debe cuantificar y entregar al equipo de trabajo dedicado a la Ingeniería de Datos.

Este trabajo de investigación cumplió lo objetivos trazados, sin embargo, existen diversas ramas que pueden incorporarse dentro de la ingeniería de datos, como datos topográficos, ensayos de laboratorio, entre otros que pueden ser ampliados y aplicados en futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

1. Después de analizar el comportamiento de los recursos y el cronograma del proyecto vial, consolidado por medio de la Ingeniería de Datos, se observó que como herramienta de análisis y gestión de proyectos el método del valor ganado mejora la ejecución de los proyectos viales ya que integra costos y tiempos programados, que a su vez pueden ser comparados con los costos y tiempos ejecutados.
2. La ingeniería de datos puede implementarse en tres etapas del proyecto: primero durante la organización y preparación del proyecto para definir un EDT que cubra las necesidades del proyecto. Segundo durante la ejecución del proyecto para poder registrar los detalles de la ejecución y darle seguimiento al avance de este. Por último, puede aplicarse al cierre del proyecto para poder elaborar una evaluación del desempeño y definir parámetros que permitan una futura mejora en proyectos similares.
3. A través de la implementación de la ingeniería de datos se pudo integrar tanto el costo como el tiempo de ejecución, lo cual permitió una optimización de los recursos asignados al proyecto vial. Esto mediante la evaluación de los cierres parciales ya que así se tiene un panorama claro de que recursos son necesarios y en qué tiempo deben utilizarse.

RECOMENDACIONES

1. Al Superintendente del proyecto designar un equipo de personas dedicado específicamente a la implementación de la ingeniería de datos, ya que es una actividad que demanda mucho análisis e interpretación de información, la cual debe ser procesada en tiempo para obtener los resultados esperados. Por ser el enlace entre la empresa constructora y la Dirección General de Caminos, también que se pueda transmitir el uso de la ingeniería de datos a las entidades contratantes.
2. Al Ingeniero residente iniciar la implementación de la ingeniería de datos a nivel conceptual para posteriormente aplicarlos a software más especializados.
3. A la Facultad de Ingeniería, a través de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, actualizar su red estudios de tal forma que pueda incluir un área que incorpore la Ingeniería de Datos.
4. A la Escuela de Estudios de Postgrado, ampliar esta rama de la ingeniería para que los profesionales puedan conocer, utilizar la gestión del valor ganado como la Ingeniería de Datos y aplicarla en su ejercicio profesional.

REFERENCIAS

1. Aprende Big Data, (7 de septiembre de 2021). *Aprende qué es una Pipeline de Datos*. Big Data. Recuperado de <https://aprenderbigdata.com/pipeline-de-datos/>
2. Aptude. (5 de septiembre de 2021). *Ingeniería de datos, análisis de datos y ciencia de datos: ¿cuál es la diferencia?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://aptude.com/es/Ciencia-de-los-datos/entrada/ingenier%C3%ADa-de-datos-an%C3%A1lisis-de-datos-vs-ciencia-de-datos-cu%C3%A1l-es-la-diferencia/>
3. CONASA (2020). *Vía Alternativa del Sur*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.conasa.com.gt/proyectos/proyectos-vas/>
4. COVIAL. (2020). *Misión y Visión*. Guatemala: Autor. Recuperado de <http://www.covial.gob.gt/mision-y-vision/>
5. Dirección General de Caminos (2020). *La Dirección General de Caminos*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://caminos.gob.gt/quienes-somos.html#:~:text=ANTECEDENTES%3A%20La%20obra%20via%20de,interrumpidos%20por%20r%C3%ADos%20y%20barrancos>
6. Google. (2018). *Guatemala: las claves de la digitalización*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/es-419/insights/guatemala-las-claves-de-la-digitalizacion/>

7. Google. (2020). *Guatemala: perspectivas digitales*. California: Autor. Recuperado de <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/es-419/estrategias-de-marketing/aplicaciones-y-dispositivos-moviles/guatemala-las-claves-de-la-digitalizacion/>
8. Greenpeace. (2017). *Clicking clean ¿Quién está ganando la carrera para construir un internet verde?* Madrid: Autor.
9. IAAR. (2020). *Introducción a la Big Data*. Argentina: Autor. Recuperado de <http://iaarbook.github.io/bidata/>
10. IBSMaker. (2020). *Ingeniería de Datos*. New York: Autor. Recuperado de <https://ibsmaker.com/intelligence-business-services/empresa-data-ready/ingenieria-de-datos/>
11. Instituto Nacional de Electrificación. (10 de octubre de 2021). *Estadísticas de accidentes de tránsito*. INE. Recuperado de https://www.ine.gob.gt/estadisticasine/index.php/usuario/hechos_transito_menu
12. MCIV. (1975) *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Ingenieros Consultores de Centro América.
13. MCIV. (2001). *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Ingenieros Consultores de Centro América.

14. MINFIN. (2020). *Alianza para el Desarrollo de Infraestructura Económica*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.minfin.gob.gt/index.php/2015-07-23-19-31-33>
15. Morales, F. (2014). *Nueva Guatemala de la Asunción, génesis y desarrollo*. Guatemala: Barrio Querido.
16. Obregón Velásquez, J. (19 de septiembre de 2020). *Panorama de las herramientas de análisis de datos*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.facebook.com/476440439070666/videos/357831542014901>
17. Oracle. (7 de septiembre de 2021). *What is Big Data?* Oracle. Recuperado de <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>
18. PMI. (2013). *Fundamentos para la dirección de proyectos*. Newtown Square, Pensilvania, EE.UU: Project Management Institute, Inc.
19. SAP (2020). *Tendencias*. Palo Alto: Autor. Recuperado de <https://www.sap.com/latinamerica/trends/big-data.html>
20. Toro, F. (2010). *Costos ABC y presupuestos*. Bogotá, Colombia: Eco Ediciones.
21. Vía Alterna del Sur (2020). *Carretera VAS*. Guatemala: Autor. Recuperado de http://www.vasguatemala.com/#carretera_vas