

**EFFECTOS DE LA INTEGRACIÓN DE BIM Y LEAN CONSTRUCTION EN LA
REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CICLO, EN PROCESOS DE DISEÑO
GEOMÉTRICO DE PROYECTOS VIALES**

**JULIAN ESLAVA LARA
JORGE MARTINEZ VILLADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2018

**EFFECTOS DE LA INTEGRACIÓN DE BIM Y LEAN CONSTRUCTION EN LA
REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CICLO, EN PROCESOS DE DISEÑO
GEOMÉTRICO DE PROYECTOS VIALES**

**JULIAN ESLAVA LARA
JORGE MARTINEZ VILLADA**

**Trabajo de grado modalidad Investigativa para optar al título de: Ingeniera
Civil**

Director

**Omar Giovanni Sanchez Rivera
PhD. en Ingeniería - Gestión de Desarrollo Tecnológico.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2018**

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 16 |
| 1.1 LEAN CONSTRUCTION..... | 16 |
| 1.2 CYCLE TIME. | 17 |
| 1.3 BIM BUILDING INFORMATION MODELING..... | 17 |
| 1.4 PROYECTO VIAL. | 19 |
| 1.5 MAPAS DE FLUJO DE VALOR (VALUE STREAM MAPPING)..... | 20 |
| 2. METODOLOGÍA | 22 |
| 2.1 RECOPIACIÓN DE TEORÍA E INFORMACIÓN..... | 22 |
| 2.1.1 Recopilación y clasificación de información. | 22 |
| 2.1.2 Investigación de las formas de minimización de gastos. | 22 |
| 2.1.3 Información del Manual de Diseño de Vías..... | 22 |
| 2.1.4 Procesos de diseño generales..... | 22 |
| 2.1.5 Asesoramiento de la filosofía Lean Construction | 23 |
| 2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE DISEÑO VIAL | 23 |
| 2.3 PROPUESTA DE MAPAS DE FLUJO DE VALOR (VSM)..... | 23 |
| 2.4 DISEÑO DEL MODELO DE LA VÍA SEGÚN LOS PROCESOS DE NORMA ESTIPULADOS EN EL VSM DE LA FORMA TRADICIONAL..... | 24 |
| 2.5 IMPLEMENTACIÓN DE BIM AL PROCESO DE DISEÑO VIAL..... | 24 |
| 2.6 REGISTRO VIDEOGRÁFICO DE LOS PROCESOS DE DISEÑO..... | 24 |
| 2.7 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS AFECTADOS POR BIM..... | 24 |
| 2.8 ESTIMACIÓN DE AUMENTOS Y REDUCCIONES DE TIEMPOS DE CICLO. | 25 |
| 2.8.1 Procesamiento..... | 25 |
| 2.8.2 Comparación..... | 25 |

| | |
|---|----|
| 2.8.3 Estimación. | 25 |
| 3. RESULTADOS..... | 26 |
| 3.1 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE DISEÑO VIAL | 26 |
| 3.1.1 AutoCADcivil3d. | 26 |
| 3.1.1.1 Diseño alineamiento horizontal | 26 |
| 3.1.1.2.Trazado de la línea rasante: | 28 |
| 3.1.1.3 Diseño de la sección transversal. | 29 |
| 3.1.1.4 Movimiento de tierras..... | 30 |
| 3.1.2 Tecnología BIM (Infraworks). | 31 |
| 3.1.3 Diseño alineamiento horizontal..... | 31 |
| 3.1.3.1 Guía línea de ceros..... | 31 |
| 3.1.3.2 Trazado de la línea de tránsito..... | 31 |
| 3.1.3.3 Ubicación curvas simples y asignación de velocidades de curva horizontal. | 31 |
| 3.1.3.4 Calculo de los radios de curvatura mínimos <i>RCmin</i> | 31 |
| 3.1.3.5 Calculo del parámetro “A” mínimo y máximo para las coloides y de la longitud mínima de curvas circulares, dado un radio propuesto. | 31 |
| 3.1.3.6 Creación de curvas espirales y simples con radio propuesto. | 32 |
| 3.1.3.7 Asignación de las velocidades específicas de las entre-tangencias <i>Veth</i> . 32 | |
| 3.1.3.8 Calculo de las longitudes mínimas y máximas para las entre tangencias. 32 | |
| 3.1.4 Diseño en perfil. | 32 |
| 3.1.4.1 Creación del perfil longitudinal. | 32 |
| 3.1.4.3 Asignación de velocidad especifica de la tangente vertical <i>VETH</i> y velocidad especifica de la curva vertical <i>VCV</i> | 33 |
| 3.1.4.4 Calculo de distancias de visibilidad de parada..... | 33 |
| 3.1.4.5 Calculo y chequeo de longitudes mínimas y máximas de las Tangentes verticales..... | 33 |
| 3.1.4.6 Calculo de longitudes mínimas y máximas de las curvas. | 33 |
| 3.1.4.7 Creación de las curvas verticales. | 34 |
| 3.1.5 Diseño de la sección transversal. | 34 |

| | |
|---|----|
| 3.1.5.1 Creación del corredor vial con línea de chaflanes. | 34 |
| 3.1.5.2 Cálculo de la longitud de transición en las curvas. | 34 |
| 3.1.5.3 Creación del diagrama del peralte para las curvas. | 34 |
| 3.1.6 Movimiento de tierras..... | 34 |
| 3.1.6.1 Creación de área de corte y relleno. | 34 |
| 3.1.6.2 Cómputo de tabla de volúmenes. | 34 |
| 3.2 DISEÑO DEL MODELO DE LA VÍA EN AutoCAD..... | 35 |
| 3.2.1 VSM 1. Diseño del alineamiento horizontal..... | 35 |
| 3.2.2 VSM 2. Diseño del alineamiento perfil. | 35 |
| 3.2.3 VSM 3. Diseño de las secciones transversales | 36 |
| 3.2.4 VSM 4. Movimiento de tierras. | 36 |
| 3.2.5 VSM 5. Producción de planos..... | 36 |
| 3.3 IMPLEMENTACIÓN DE BIM AL PROCESO DE DISEÑO VIAL..... | 36 |
| 3.3.1 VSM 1. Estado futuro diseño del alineamiento horizontal | 36 |
| 3.3.3 VSM 3. Estado futuro diseño de las secciones transversales..... | 37 |
| 3.3.4 VSM 4. Estado futuro movimiento de tierras..... | 37 |
| 3.3.5 VSM 5. Estado futuro producción de planos | 37 |
| 3.4 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS AFECTADOS POR BIM..... | 41 |
| 3.4.1 VSM 1. Diseño en planta del alineamiento. | 42 |
| 3.4.2 VSM 2. Diseño en perfil del alineamiento. | 43 |
| 3.4.3 VSM 3. Diseño de secciones transversales. | 44 |
| 3.4.4 VMS 4. Movimiento de masas. | 45 |
| 3.5 ESTIMACIÓN DE AUMENTOS Y REDUCCIONES DE TIEMPOS DE CICLO | 45 |
| 4. CONCLUSIONES. | 49 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |
| ANEXOS..... | 54 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Ejemplo de un VSM. | 21 |
| Figura 2. VSM Diseño del alineamiento horizontal. | 37 |
| Figura 3. VSM Diseño del alineamiento en perfil. | 38 |
| Figura 4. VSM Diseño de secciones transversales. | 38 |
| Figura 5. VSM Movimiento de masas. | 39 |
| Figura 6. VSM estado futuro diseño alineamiento horizontal. | 39 |
| Figura 7. VSM estado futuro diseño del alineamiento en perfil. | 40 |
| Figura 8. VSM estado futuro diseño secciones transversales. | 40 |
| Figura 9. VSM estado futuro movimiento de tierras. | 41 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Gráfica 1. Comparación de tiempos de ciclo del VSM1..... | 42 |
| Gráfica 2. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 1..... | 42 |
| Gráfica 3. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 2..... | 43 |
| Gráfica 4. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 2..... | 43 |
| Gráfica 5. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 3..... | 44 |
| Gráfica 6. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 3..... | 44 |
| Gráfica 7. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 4..... | 45 |
| Gráfica 8. Comparación porcentaje de valor agregado VSM 4..... | 45 |
| Gráfica 9. Comparacion tiempo de ciclo total..... | 46 |
| Gráfica 10. Comparación tiempo de valor agregado y tiempo de ciclo total en el diseño por Infracworks..... | 46 |
| Gráfica 11. Comparación tiempo de valor agregado y tiempo de ciclo total en el diseño por AutoCAD civil 3d..... | 47 |
| Gráfica 12. Compracion tiempo total con igual numero de curvas en los 2 modelos. | 48 |
| Gráfica 13. Comparación tiempo de valor agregado con igual numero de curvas en los 2 modelos..... | 48 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---------------------------------|-------------|
| Anexo A. Datos de medición..... | 54 |
| Anexo B. Indicadores..... | 55 |

RESUMEN

Titulo: Efectos de la integración de BIM y Lean Construction en la reducción de tiempos de ciclo, en procesos de diseño geométrico de proyectos viales.*

Autores: Julian Eslava Lara
Jorge Martínez Villada**

Palabras Clave: Infraestructura vial, pérdidas, planificación, Building Information Modeling, Lean Construction, VSM, diseño Geométrico, tiempos de ciclo.

En la última década, la infraestructura vial en Colombia se ha infravalorado debido a que los múltiples accidentes registrados a lo largo de este tiempo han generado que la comunidad pierda la confianza en la ingeniería nacional. El colapso del famoso puente chirajara e hidroituango, entre otras obras de mega infraestructura, fue resultado de errores cometidos en los diseños ingenieriles, los cuales provocaron gran pérdida de dinero y vidas humanas. Por otra parte, el raudo avance tecnológico ofrece alternativas de mejora y ayuda para reproducir diseños más eficaces y amigables a la vista. En este orden de ideas, en el presente trabajo se propuso la implementación de BIM en el diseño geométrico de vías y se compararon los tiempos de ciclo con los de los métodos convencionales actualmente empleados, junto con la ayuda del programa AutoCAD y de la nueva tecnología propuesta por el programa InfraWorks, ofrecidos por la ya conocida empresa autodesk. Este proceso se realizó bajo el cumplimiento a cabalidad del manual de diseño geométrico de vías y de las reglas utilizadas en el país a partir de una vía que comunicará los municipios de Busbanza y Corrales ubicados en el departamento de Boyacá. Adicionalmente, se emplearon herramientas de la filosofía Lean Construction como lo son los VSM, lo cual promovió la obtención de un modelo más exacto de los pasos a seguir, los puntos de comparación y la identificación de pérdidas y mejoras.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil Director: Omar Giovanni Sanchez Rivera PhD.

ABSTRACT

Title: Effects of the integration of BIM and Lean Construction in the reduction of times of cycle, in processes of geometric design of road projects.*

Authors: Julian Eslava Lara
Jorge Martinez Villada **

Keywords: Infrastructure, losses, planning, Building Information Modeling, Lean Construction, Vsm, Geometric design, cycle times

In the last decade, road infrastructure in Colombia has been underestimated since the multiple accidents throughout this time have caused the community to lose confidence in national engineering. The collapse of the famous bridge chirajara and hidroituango, among other works of mega infrastructure, was the result of mistakes made in the engineering designs, which caused great loss of money and human lives. On the other hand, the future of technology. In this order of ideas, in the present work the implementation of BIM was proposed in the geometric design of the tracks and the cycle times are compared with the current methods, the employees, together with the help, the autocad program and the new technology. Proposal for the information program, results for the autodesk company. This is a process that develops under the fulfillment of a guide of the geometric design of the roads and the rules of use in the country in a way that communicates the municipalities of Busbanza and Corrales in the department of Boyacá. Also, use the philosophy tools. Lean Construction as are the VSM, which promoted the obtaining of a more accurate model of the steps to be followed, the points of comparison and the identification of the losses and improvements.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierias fisicomecanicas. Escuela de Ingenieria Civil Director: Omar Giovanni Sanchez Rivera PhD.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Colombia es de vital importancia la adecuada planeación y gestión de proyectos viales debido a que esto promueve una buena conectividad vial característica de un modelo de país en vía de desarrollo. La industria de la construcción a nivel nacional es considerada como uno de los sectores económicos con mayor aporte al desarrollo del país y de acuerdo con la política adoptada por los últimos gobiernos, el sector constructivo apunta a un modelo de desarrollo sostenible en donde se opta por reducir los desperdicios, buscar nuevas tecnología y generar procesos constructivos amigables con el medio ambiente en donde la vida útil de los proyectos se enfoque en la reducción de consumos de energía^{1, 2}. Adicionalmente, en la nación existe un gran número de proyectos de infraestructura vial que impulsan a la implementación de nuevas tecnologías enfocadas en el diseño y construcción de dichos proyectos ³. Lastimosamente, en la realidad nacional es común que en estos proyectos se presenten fenómenos de sobrecostos durante su ejecución y atrasos en los tiempos de entrega, como consecuencia de la mala planificación, gestión y ejecución por parte de los contratistas, entre otras problemáticas nacionales como la corrupción y el clientelismo ⁴. Según Ballard y Koskela, las técnicas de gestión de proyectos del PMI, generalmente adoptadas por las constructoras nacionales, no son muy útiles para la gestión de proyectos de construcción por el alto grado de incertidumbre que producen, por esta razón los autores defienden el uso de las herramientas Lean Construction como un mejor

¹ CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE. Acerca del CCCS, consultado 7 Marzo 2018. En: <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>.

² CAMACOL, "El sector de la construcción en Colombia: hechos estilizados y principales determinantes del nivel de actividad," Camara Colomb. la construcción, p. 40, 2008

³ CARRETERA D. E. U. N. A., "Manual de diseño Geometrico de Carreteras

⁴ EL ESPECTADOR. Corrupcion y construccion, consultado 7 Marzo 2018. En: <https://www.elespectador.com/opinion/corrupcion-y-construccion-columna-691593>

camino para la gestión de dichos proyectos ⁵. El principal objetivo Lean Construction es eliminar o reducir las actividades involucradas en los proyectos viales nacionales que no agregan valor a la obra y optimizar las que si lo hacen para generar un impacto altamente satisfactorio en términos de tiempo, recursos, reducción de pérdidas y modernización en todas las etapas que implica la realización de los proyectos ⁶. Finalmente, la implementación de la filosofía Lean Construction en conjunto con la tecnología BIM, podría aportar significativamente a la reducción de pérdidas en los proyectos viales al reducir los tiempos de ciclo en las etapas de diseño, gracias a los modelos 3D y 5D arrojados por la tecnología BIM que son mucho más sofisticados a las formas tradicionales y estandarizadas de diseño de los proyectos viales ⁷. En este orden de ideas, la pregunta que se desea responder en el desarrollo del presente proyecto de investigación es: ¿La implementación conjunta de BIM y Lean Construction tienen efecto en los tiempos de ciclo de los procesos de diseño geométrico de proyectos viales? Para responder a la pregunta se empleó un tramo de un proyecto vial como caso de estudio y se realizó su correspondiente diseño geométrico, utilizando la respectiva norma colombiana para el diseño de proyectos viales del INVIAS. Estos diseños se realizaron con la tecnología tradicional y por otra parte con la tecnología BIM, lo cual permitió hacer la medición y comparación de los tiempos de ciclo en cada etapa del diseño geométrico para cada uno de estos diferentes procesos de diseño. Cada etapa se desglosó y analizó por medio de un mapa de flujo de valores VSM (Stream Value Mapping) que sirvió para identificar las actividades que no agregan valor al proyecto y posteriormente eliminarlas.

⁵ DÍAZ H. P., RIVERA O. Giovanni, S., J. Alberto, and GUERRA G., "Resumen Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review," *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1, pp. 1794–4953, 2014

⁶ LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE. What is Lean Construction, consultado 5 de Octubre 2013. En: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction>

⁷ DAVE B., S KUBLER., FRAMLING K., and KOSKELA L., "Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, no. 9, pp. 968–980, 2010

1. MARCO TEÓRICO

1.1 LEAN CONSTRUCTION.

Es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos ⁸. Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva ⁹], de esta manera la filosofía Lean Construction cataloga las siguientes 7 categorías de residuos que no agregan valor a la construcción ¹⁰:

- 1) Defectos
- 2) Demoras
- 3) Excesos de procesos
- 4) Exceso de producción
- 5) Inventarios excesivos
- 6) Transporte innecesario
- 7) Movimiento no útil de personas

El objetivo de Lean Construction es optimizar las transformaciones al eliminar o minimizar los flujos que los materiales deben seguir hacia los lugares de ejecución de los trabajos de obra para obtener más valor en los productos finales ¹¹.

⁸ LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE.

⁹ AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry, Lean Construction Journal, 2012 105-121

¹⁰ DÍAZ H. P., RIVERA O. Giovanni, S., J. Alberto, and GUERRA G., Op. Cit.

¹¹ ORIHUELA Pablo. Lean Construction en el Perú, consultado 10 de octubre 2013, En: <http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Construction%20en%20el%20Peru.pdf>

1.2 CYCLE TIME.

Tiempo de ciclo es la suma de las duraciones de las actividades, menos la duración de las actividades sobrepuestas, más la suma de los tiempos de cola, por ejemplo, el tiempo en el cual la parte de una casa tarda en ser terminada. Por consecuencia, los tiempos de ciclo pueden reducirse al disminuir los tiempos de cola, las actividades superpuestas y el tiempo de las duraciones de las actividades ¹².

Dentro de la filosofía de Lean Construction la reducción de los tiempos de ciclo es un principio fundamental, ya que este puede ser usado como un conductor hacia la reducción de la variabilidad. Sin embargo, la reducción de los tiempos de ciclo también tiene un valor intrínseco debido a la conexión de definición entre el trabajo en progreso y tiempo de ciclo (expresado en la ley de Little). Este principio es aproximadamente equivalente a la reducción de inventario. En la construcción, la reducción de los tiempos de ciclo debe enfocarse en varios niveles de análisis: duración total de la construcción, etapa de construcción, flujo de materiales (desde la fábrica hasta la instalación), y las tareas ¹³.

1.3 BIM BUILDING INFORMATION MODELING.

BIM no es un simple modelo tridimensional (3D), es un proceso para mejorar el rendimiento a través de todo el ciclo de vida de los edificios. Según el estado del arte, BIM puede usarse para una amplia gama de propósitos como, por ejemplo, la integración de diseño y construcción, gestión de proyectos, gestión de instalaciones y modelado de información de construcción. Se argumenta que es una herramienta útil para reducir la industria de la construcción fragmentada, al mejorar su eficiencia / efectividad y disminuir los altos costos de la interoperabilidad inadecuada.

¹² BALLARD G., "Cycle Time Reduction in Home Building," Construction, pp. 1–9, 2001.

¹³ DAVE B., S KUBLER., FRAMLING K., and KOSKELA L.,

Adicionalmente, se puede considerar como una herramienta que facilita las comunicaciones entre los interesados o como un modelo de información que se puede utilizar a lo largo del ciclo de vida del proyecto ¹⁴.

BIM 360™ es un software de gestión de un proyecto que ayuda a la colaboración entre los diferentes agentes que intervienen. Al ser un software en la nube permite acceder a la información en cualquier lugar, momento y por toda persona del proyecto. Es decir, permite una mejor coordinación para reducir errores, confusiones y menos uso del papel en pro de la eficiencia ¹⁵.

Los usos del modelado de información de construcción (BIM) en proyectos de construcción e infraestructura son numerosos. La mayoría de los ejemplos de casos BIM se centraron en edificios, y los estudios limitados han informado sobre la adopción y el uso de BIM en proyectos de infraestructura.

Por otra parte, el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial o ferroviaria en el diseño, construcción y mantenimiento sirve para crear, administrar, y mantener toda la información crítica relacionada con un activo como información geoespacial, representación gráfica del transporte, redes, recursos requeridos en el proyecto, etc. La correcta utilización de los datos BIM ayuda a lograr una adecuada relación costo-efectividad de diseño y mejorar la eficiencia en la comunicación entre los interesados del proyecto ^{16 17}.

¹⁴ LU W., PENG Y., SHEN Q., and LI H., "Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks," J. Constr. Eng. Manag., vol. 139, no. 2, pp. 195–203, 2013

¹⁵ LEAN BIM CONSTRUCTION El blog lean de la construcción. Autodesk BIM 360, consultado 10 de marzo 2018. En: <http://leanbimconstruction.com/autodesk-360>

¹⁶ CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., "Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects," J. Constr. Eng. Manag., vol. 32, no. 6, pp. 1–13, 2016

¹⁷ ILOZOR, B.D, Kelly, D.J. Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the commercial Construction industry: a conceptual study, Journal of engineering, project and production management, 2 (1), 2012 23-36

1.4 PROYECTO VIAL.

Es una propuesta de acción que involucra un proceso de localización del eje de la carretera, su replanteo en el terreno, referenciación, geometrización, análisis paisajístico del trazado y sus áreas adyacentes, establecimientos de sistemas de drenaje, causas sobre el ambiente y su mitigación, estimación de las cantidades de obras a ejecutar y redacción de los informes y memorias que acompañan a los planos. La elaboración de un proyecto vial obedece a una planificación vial, el cual es un proceso en el que se establece claramente el propósito de construcción de una carretera o de la intervención para mejorar las características y /o condiciones de una carretera ¹⁸.

En la construcción de una vía se comprende el conjunto de todas las obras que se presentan en un proyecto de carreteras. Es decir, proyectos donde no existe ninguna vía o se va a continuar una ya existente. Para el Instituto Nacional de Vías se trata de un proyecto cuya longitud sea mayor al 30% de la vía existente.

Los proyectos de Mejoramiento abarcan la modificación de la geometría y dimensiones originales de la vía con el fin de mejorar su nivel de servicio y adecuarla a las condiciones requeridas por el tránsito actual y futuro. Comprende tres tipos de trabajos que son: ampliación, rectificación y pavimentación ^{19 20}

¹⁸ AGUDELO J., "Diseño Geométrico de Vías Ajustado al Manual Colombiano," p. 531, 2002

¹⁹ CARDENAS G, James. Diseño Geométrico de Vías. Segunda Edición, Bogotá, Ediciones Ecoe, 2000. 320 p

²⁰ MINISTERIO DEL TRANSPORTE. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Bogotá, Instituto Nacional de Vías, 1997. 259 p

1.5 MAPAS DE FLUJO DE VALOR (VALUE STREAM MAPPING)

Es una técnica gráfica que permite visualizar todo un proceso, además de detallar y entender completamente el flujo tanto de información como de materiales necesarios para que un producto o servicio llegue al cliente. Con esta técnica se identifican las actividades que no agregan valor al proceso para posteriormente iniciar las actividades necesarias para eliminarlas. VSM es una de las técnicas más utilizadas para establecer planes de mejora siendo muy precisa debido a que enfoca las mejoras en el punto del proceso del cual se obtienen los mejores resultados.

PASOS:

1) Identificar la familia de productos a dibujar.

Para identificar una familia de productos se puede utilizar una matriz producto-proceso, teniendo en cuenta que “Una familia de productos son aquellos que comparten tiempos y equipos, cuando pasan a través de los procesos”.

2) Dibujar el estado actual del proceso identificando los inventarios entre operaciones, flujo de material e información (figura 1).

3) Analizar la visión sobre cómo debería ser el estado futuro.

4) Dibujar el VSM futuro: El propósito del Value-stream Map (VSM) es resaltar las fuentes de pérdidas, por eso la implementación de un VSM futuro debe hacerse en un periodo corto de tiempo. La meta es construir procesos que estén vinculados con los clientes ²¹ ²².

²¹ LEAN SOLUTIONS. VSM, Value Stream Mapping, consultado 13 de marzo 2018. En: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>

²² LU W., PENG Y., SHEN Q., and LI H., “Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks,” J. Constr. Eng. Manag., vol. 139, no. 2, pp. 195–203, 2013

2. METODOLOGÍA

2.1 RECOPIACIÓN DE TEORÍA E INFORMACIÓN.

Se realizó la recolección y análisis de la información relevante necesaria para el correcto desarrollo de la investigación, en el siguiente orden:

2.1.1 Recopilación y clasificación de información. A través de las plataformas de artículos como las “ASCE, Springer, ELSERVIER, Emerald Insight, Taylor & Francis, Google académico” y con la ayuda de las nuevas tecnologías se recopiló y clasificó la información acerca de los temas a tratar tales como lean construcción, BIM, proyectos viales y tiempos de ciclo.

2.1.2 Investigación de las formas de minimización de gastos. Con la información recolectada y las bondades de BIM, se investigaron las formas de minimizar gastos en el entorno de las construcciones del país con técnicas o herramientas tales como los mapas de flujo de valor (VSM), los cuales dan frutos en el ahorro de los tiempos de diseño aseguran el éxito en las fechas establecidas de los proyectos.

2.1.3 Información del Manual de Diseño de Vías. Se recolectó información del Manual de Diseño Geométrico de Vías para los procesos de diseño de una vía con las características de la investigación.

2.1.4 Procesos de diseño generales. Se consultaron los procesos de diseño generales en los software, como tutoriales brindados por Autodesk, en las diferentes plataformas.

2.1.5 Asesoramiento de la filosofía Lean Construction Se realizó el adecuado asesoramiento en la implementación de la filosofía Lean Construction para la creación de VSM para los procesos de diseño de una vía.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE DISEÑO VIAL

Para el desarrollo de la investigación fue indispensable la identificación de los procesos de diseño en el manual de diseño geométrico del INVIAS, empleados para la realización de proyectos en software tradicionales. Posteriormente, se procedió a hacer la descripción detallada de cada proceso identificado.

2.3 PROPUESTA DE MAPAS DE FLUJO DE VALOR (VSM).

Se creó un boceto de los mapas de flujo de valor de las 4 etapas identificadas como fundamentales en el diseño de los proyectos viales según la normativa colombiana, utilizando los procesos de diseño identificados. Estos bocetos fueron llamados los VSM actuales y se modificaron por medio de la implementación de la tecnología BIM para la construcción de los VSM futuros, según se identifiquen mejoras en los procesos.

Fue fundamental identificar las variables más importantes que ayudaron a la investigación en la obtención de mejores resultados para la elaboración de estos mapas.

Los variables a medir y los indicadores que resultaron del análisis de las mismas se encuentran en las tablas 1 y 2.

2.4 DISEÑO DEL MODELO DE LA VÍA SEGÚN LOS PROCESOS DE NORMA ESTIPULADOS EN EL VSM DE LA FORMA TRADICIONAL.

Identificados los mapas de flujo de valor con los procesos de diseño que se deben desarrollar para el diseño de un proyecto vial, se procedió a realizar cada uno de ellos con en el software AutoCAD. Posteriormente se realizó el diseño del tramo vial que comunica los municipios de Busbanza a corrales en el departamento de Boyacá.

2.5 IMPLEMENTACIÓN DE BIM AL PROCESO DE DISEÑO VIAL.

Se realizó el diseño de la vía siguiendo los procesos identificados y VSM planteados en el software con tecnología BIM Infracore.

2.6 REGISTRO VIDEOGRÁFICO DE LOS PROCESOS DE DISEÑO.

Se procedió a hacer un registro videográfico de cada uno de los procesos de diseño planteados en los VSM tanto en AutoCAD como en el diseño por medio de la implementación de la tecnología BIM.

Esta constancia videográfica se utilizó para su posterior reproducción en donde se registraron las variables que se requerían para hacer los VSM.

2.7 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS AFECTADOS POR BIM.

Se observaron e identificaron las actividades que generan pérdidas de tiempo en cada uno de los procesos afectados por el software BIM.

2.8 ESTIMACIÓN DE AUMENTOS Y REDUCCIONES DE TIEMPOS DE CICLO.

Esta etapa abarca tres pasos:

2.8.1 Procesamiento. Procesamiento de los tiempos registrados en la etapa tradicional y con la implementación BIM (cálculo de indicadores).

2.8.2 Comparación. Comparación de los tiempos e indicadores de AutoCAD e Infracore para la identificación de los procesos afectados por la implementación de BIM-lean.

2.8.3 Estimación. Estimación de las reducciones o aumentos en los procesos que se ven afectados por la implementación de BIM y lean construcción.

3. RESULTADOS

3.1 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE DISEÑO VIAL

Según la normativa colombiana para el diseño de carreteras, se identificaron 4 etapas fundamentales con sus respectivos subprocesos de diseño, utilizando el software AutoCAD civil3d.

3.1.1 AutoCADcivil3d.

3.1.1.1 Diseño alineamiento horizontal

1 Guía línea de ceros: Con la herramienta circunferencia de AutoCAD Civil 3d (AC3d) se dibujan círculos de un radio de 166.66 m desde el punto de inicio del proyecto, tales que el círculo siguiente tenga su centro donde se intersecta el perímetro del círculo anterior con la curva de nivel superior o inferior a la anterior.

2. Trazado de la línea de ceros: Se traza una poli línea con la herramienta poli línea de AC3d, uniendo el centro de las circunferencias progresivamente.

3. Trazado de la línea de tránsito: Se crea una nueva poli línea tomando como referencia la poli línea de la línea de ceros, tal que es menos quebrada y las líneas entre quiebre y quiebre son mas prolongadas.

4. Creación del alineamiento: Con la Herramienta Alineamiento de AC3d, se le asignan las características de un alineamiento a la poli línea de la línea de tránsito, creándose así el alineamiento con abscisado.

5. Creación de curvas simples y asignación de velocidades específicas: Se asignan curvas simples a todos puntos de quiebre del alineamiento con la herramienta editor geométrico del alineamiento de AC3d, cada una de estas con un radio propuesto para después proceder a asignar la velocidad específica de curva horizontal V_{CH} de cada curva como está especificado en el manual de diseño geométrico del INVIAS 2008 (MDG-08) Capítulo 2.

6. Cálculo de los radios de curvatura mínimos R_{Cmin} : para cada curva se calcula un R_{Cmin} tal como lo indica el inciso 3.1.3.4 del capítulo 3 del MDG-08.

7. Calculo del parámetro “A” mínimo y máximo para las coloides y de la longitud mínima de curvas circulares, dado un radio propuesto. Para cada curva se calcula el parámetro “A” mínimo teniendo en cuenta los criterios que enumera el MDG-08 en el inciso 3.1 del capítulo 3, luego se calcula el parámetro “A” máximo según el inciso 3.2 del capítulo 3 del MDG-08 y por último la longitud mínima para curvas circulares atendiendo al inciso 3.6 del capítulo 3 del MDG-08

8. Creación de curvas espirales y simples con radio propuesto. Se crean las curvas circulares simples, espiral-circular-espiral y espiral-espiral en cada punto de intersección de las tangentes con la herramienta editor geométrico del alineamiento teniendo en cuenta los valores del parámetro A y de longitudes anteriormente hallados.

9. Asignación de las velocidades específicas de las entre tangencias V_{eth} . A cada curva se asigna una V_{eth} tal como lo especifica el MDG-08 en el inciso 2.1.3.2 del capítulo 2.

10. Calculo de las longitudes mínimas y máximas para las entre tangencias. Para cada entretangencia de pendiente de su velocidad específica y si esta entre

curvas de igual o diferente sentido se calcula su longitud máxima o mínima según lo especifica el MDG-08 en el inciso 3.4 del capítulo 3.

11. Chequeo de entre tangencias. Se verifica que la longitud de las entre tangencias que están plasmadas en el alineamiento cumplan las condiciones dadas por el MDG-08 tales como longitudes mínimas y máximas las cuales fueron halladas en el proceso anterior.

12. Chequeo de radios entre curvas contiguas. Se verifica que los radios de las curvas consideradas como contiguas en el MDG-08 del alineamiento creado, cumpla con las condiciones mínimas dadas en el inciso 3.5 de capítulo 3 de este mismo manual.

3.1.1.2 Diseño en perfil

1 Creación del perfil longitudinal. Utilizando la herramienta create Surface profile de ADC3d se selecciona el alineamiento horizontal anterior mente diseñado del cual se saca el perfil longitudinal, después se le asignan las características propias del proyecto y de visualización a criterio del diseñador.

2 Trazado de la línea rasante: Se utiliza la herramienta editor geométrico del perfil del AC3d para crear las tangentes de la rasante, estas tangentes se ubicaron de tal manera que a simple vista existiera la misma cantidad de corte como de relleno en el perfil longitudinal y con pendientes que no son tan marcadas.

3 Chequeo de pendientes en la rasante. Se verifica que las pendientes de la línea rasante creada anteriormente cumpla con las condiciones dictadas en inciso 4.1.1 y 4.1.2 del MDG-08

4 Asignación de velocidad específica de la tangente vertical V_{ETH} y velocidad específica de la curva vertical V_{CV} . Se asignan las V_{ETH} a las tangentes verticales y las V_{CV} a las curvas verticales del alineamiento de la rasante, según lo indica el inciso 2.1.3.3 y 2.1.3.4 del capítulo 2 del MDG-08.

5 Calculo de distancias de visibilidad de parada. Para cada tangente ya sea en ascenso o descenso se calcula y asigna una distancia de visibilidad de parada de acuerdo a la tabla 4.4 en el capítulo 4 del MDG-08.

6 Calculo y chequeo de longitudes mínimas y máximas de las Tangentes verticales. Se calculan los valores de longitudes mínimas y máximas asignadas según lo indica el inciso 4.1.3 y 4.1.4 del capítulo 4 del MDG-08, para posteriormente compararlos con las longitudes que tienen las tangentes creadas en el alineamiento de la rasante y así verificar y ajustar dichas longitudes para que cumplan con el MDG-08

7 Calculo de longitudes mínimas y máximas de las curvas. Se calculan los valores de las longitudes máxima y mínimas que pueden tener las curvas cóncavas tanto convexas según el inciso 4.2.3 del capítulo 4 del MDG-08

8 Creación de las curvas verticales. Se crean las curvas verticales con la herramienta de AC3d en el alineamiento de la rasante ya sean cóncavas o convexas teniendo en cuenta los valores de longitudes anteriormente hallados.

3.1.1.3 Diseño de la sección transversal.

1 Dimensionamiento y dibujo de la sección transversal de la carretera: Se dibuja la sección típica de una carretera pavimentada con una calzada, berma y cuneta que será ensamblada al alineamiento creado, asignando las dimensiones que se dictan en el capítulo 5 de el MDG-08.

2 Creación del corredor vial con línea de chaflanes: Se crea la vía sobre el alineamiento existente, basado en la información de la sección típica y con las especificaciones de los taludes de corte y relleno para visualizar las líneas de chaflanes.

3 Diseño del sobre ancho en las curvas: se redibuja las curvas con radios reducidos que requieran un sobre ancho según lo dicta el inciso 5.4 del capítulo 5 de el MDG-08

4 Diseño del carril de ascenso: Es necesario diseñar un carril de ascenso en donde la longitud de las tangentes verticales es demasiado larga para algunos vehículos según el inciso 5.8 de el capítulo 5 del MDG-08

5 Calculo de la longitud de transición en las curvas: Se calculan las longitudes de transición para cada curva ya sea espiralizada o simple especificadas en el inciso 3.2 del capítulo 3 del MDG-08

6 Creación del diagrama del peralte para las curvas: Se crea el dibujo del diagrama de peraltes con sus respectivas pendientes

3.1.1.4 Movimiento de tierras

1 Creación de área de corte y relleno: Se creó en las secciones transversales las áreas en donde la sección típica se unen con el terreno sean de corte o terraplén, distinguiéndose por colores diferentes

2 Computo de tabla de volúmenes: Se creó una tabla donde se muestran los datos de volumen acumulados, totales o progresivos en todas las abscisas de las líneas de muestreo.

3 Creación de diagrama de masas: Se creó un dibujo donde se muestra el movimiento de tierras a lo largo del alineamiento, ya sea de corte o de relleno.

4 Calculo de área de corte y relleno: Se computan los resultados y se calculó todos los valores arrojando los resultados finales de movimiento de tierras

3.1.2 Tecnología BIM (Infraworks).

3.1.3 Diseño alineamiento horizontal.

3.1.3.1 Guía línea de cerros. Con la herramienta creación de carretera se crearon líneas de 166 m para cumplir la pendiente.

3.1.3.2 Trazado de la línea de tránsito. Se creó la mejor opción de pendiente evitando tocar las curvas de nivel antes de haber cumplido la distancia de 166 m.

3.1.3.3 Ubicación curvas simples y asignación de velocidades de curva horizontal. Se estableció la mejor ubicación de las curvas teniendo en cuenta las bondades de Infraworks en cuanto a geolocalización de fuentes hídricas y de grandes caseríos beneficiados en la obra.

3.1.3.4 Calculo de los radios de curvatura mínimos R_{Cmin} . Para cada curva se calculó un R_{Cmin} tal como lo indica el inciso 3.1.3.4 del capítulo 3 del MDG-08.

3.1.3.5 Calculo del parámetro “A” mínimo y máximo para las coloides y de la longitud mínima de curvas circulares, dado un radio propuesto. Para cada curva se calculó el parámetro “A” mínimo teniendo en cuenta los criterios que enumera el MDG-08 en el inciso 3.1 del capítulo 3, luego se calculó el parámetro “A” máximo según el inciso 3.2 del capítulo 3 del MDG-08 y por último la longitud mínima para curvas circulares atendiendo al inciso 3.6 del capitulo 3 del MDG-08.

3.1.3.6 Creación de curvas espirales y simples con radio propuesto. Se crearon las curvas circulares simples, espiral-circular-espiral y espiral-espiral en cada punto de intersección de las tangentes con la herramienta editor geométrico del alineamiento teniendo en cuenta los valores del parámetro A y de longitudes anteriormente hallados.

3.1.3.7 Asignación de las velocidades específicas de las entre-tangencias V_{eth} . A cada curva se le asignó una V_{eth} tal como lo especifica el MDG-08 en el inciso 2.1.3.2 del capítulo 2.

3.1.3.8 Calculo de las longitudes mínimas y máximas para las entre tangencias. Para cada entre-tangencia de pendiente de su velocidad específica y si está entre curvas de igual o diferente sentido se calculó su longitud máxima o mínima según lo especifica el MDG-08 en el inciso 3.4 del capítulo 3.

3.1.3.9 Chequeo de entre tangencias. Se verificó que la longitud de las entre-tangencias que están plasmadas en el alineamiento cumplan las condiciones dadas por el MDG-08 tales como longitudes mínimas y máximas las cuales fueron halladas en el proceso anterior.

3.1.3.10 Chequeo de radios entre curvas contiguas. Se verificó que los radios de las curvas consideradas como contiguas en el MDG-08 del alineamiento creado, cumpla con las condiciones mínimas dadas en el inciso 3.5 de capítulo 3 de este mismo manual.

3.1.4 Diseño en perfil.

3.1.4.1 Creación del perfil longitudinal. Se seleccionó el alineamiento horizontal anteriormente diseñado del cual se le da clic derecho y la opción mostrar perfil de

la vía, después se le asignan las características propias del proyecto y de visualización a criterio del diseñador.

3.1.4.2 Chequeo de pendientes en la rasante. Se verificó que las pendientes de la línea rasante creada anteriormente cumplan con las condiciones dictadas en inciso 4.1.1 y 4.1.2 del MDG-08

3.1.4.3 Asignación de velocidad específica de la tangente vertical V_{ETH} y velocidad específica de la curva vertical V_{CV} . Se asignaron las V_{ETH} a las tangentes verticales y las V_{CV} a las curvas verticales del alineamiento de la rasante, según lo indica el inciso 2.1.3.3 y 2.1.3.4 del capítulo 2 del MDG-08.

3.1.4.4 Calculo de distancias de visibilidad de parada. Para cada tangente ya sea en ascenso o descenso se calculó y asignó una distancia de visibilidad de parada de acuerdo con la tabla 4.4 en el capítulo 4 del MDG-08. Con la herramienta distancia de visibilidad brindada por Infracore.

3.1.4.5 Calculo y chequeo de longitudes mínimas y máximas de las Tangentes verticales. Se calcularon los valores de longitudes mínimas y máximas asignadas según la del inciso 4.1.3 y 4.1.4 del capítulo 4 del MDG-08, para posterior mente compararlos con las longitudes que tienen las tangentes creadas en el alineamiento de la rasante y así verificar y ajustar dichas longitudes para que cumplan con el MDG-08

3.1.4.6 Calculo de longitudes mínimas y máximas de las curvas. Se calcularon los valores de las longitudes máxima y mínimas que pueden tener las curvas cóncavas tanto convexas según el inciso 4.2.3 del capítulo 4 del MDG-08

3.1.4.7 Creación de las curvas verticales. Se crearon las curvas verticales con la herramienta crear curva vertical en el alineamiento de la rasante, ya sean cóncavas o convexas teniendo en cuenta los valores de longitudes anteriormente hallados.

3.1.5 Diseño de la sección transversal.

3.1.5.1 Creación del corredor vial con línea de chaflanes. Se modificaron las dimensiones de diseño que vienen por defecto en Infracworks, dándole las propiedades establecidas para el proyecto.

3.1.5.2 Cálculo de la longitud de transición en las curvas. Se calcularon las longitudes de transición para cada curva ya sea espiralizada o simple especificadas en el inciso 3.2 del capítulo 3 del MDG-08.

3.1.5.3 Creación del diagrama del peralte para las curvas. Se creó el dibujo del diagrama de peraltes con sus respectivas pendientes

3.1.6 Movimiento de tierras.

3.1.6.1 Creación de área de corte y relleno. Se creó en las secciones transversales las áreas en donde la sección típica se unen con el terreno sean de corte o terraplén.

3.1.6.2 Cómputo de tabla de volúmenes. Se creó una tabla donde se muestran los datos de volumen acumulados, totales o progresivos en todas las abscisas de las líneas de muestreo.

3.1.6.3 Cálculo de área de corte y relleno. Se computaron los resultados y se calcularon todos los valores arrojando los resultados finales de movimiento de tierras.

3.2 DISEÑO DEL MODELO DE LA VÍA EN AutoCAD.

Dentro de la filosofía lean construcción se encuentran herramientas que ayudan a identificar los procesos que no generan valor dentro de un proyecto, entre ellas la herramienta VALUE STREAM MAPPING, la cual es la base de este proyecto para la identificación de procesos de diseño geométrico que se afectan al implementar la tecnología BIM en el diseño de un proyecto vial.

Según el MDG-08 se identificó 5 etapas esenciales que conforman el proceso de diseño geométrico de los proyectos viales: Diseño del alineamiento horizontal, Diseño del alineamiento en perfil, Diseño de secciones típicas y transversales, Movimiento de Tierras y Producción de planos.

Estas 4 etapas se tomaron como base para la creación de 4 VSM, donde se plasman los procesos de diseño de cada etapa y se identifican características como su orden secuencial, flujo de información, tiempos de ciclo e indicadores que se encuentran en la tabla 1 y tabla 2.

Se empleó en cada paso del proceso de diseño, las herramientas brindadas por AutoCAD se cumplió a cabalidad los pasos estipulados en los VSM y se obtuvieron obtener los siguientes tiempos de ciclo sujetos en muchas veces a criterio del diseñador y al buen manejo del software, ya que en ambos software seguimos la misma metodología y aprendimos en cada uno de ellos, los datos fueron más confiables en cuanto al uso del programa en estudiantes o aprendices con pocas habilidades en cada uno de los programas.

3.2.1 VSM 1. Diseño del alineamiento horizontal. Se puede visualizar en la Grafica 1.

3.2.2 VSM 2. Diseño del alineamiento perfil. Se puede visualizar en la gráfica 2.

3.2.3 VSM 3. Diseño de las secciones transversales Se puede visualizar en la gráfica 3.

3.2.4 VSM 4. Movimiento de tierras. Se puede visualizar en la gráfica 4.

3.2.5 VSM 5. Producción de planos. Se puede visualizar en la gráfica 5

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE BIM AL PROCESO DE DISEÑO VIAL.

Se empleó en cada paso del proceso de diseño, las herramientas brindadas por INFRAWORKS cumplimos a cabalidad los pasos estipulados en los VSM, con ello observamos que podemos editar o unir procesos ya que el software nos permite crear estos pasos de una manera más amigable y con mejor interfaz para evitar más demoras; además logramos obtener los siguientes tiempos de ciclo sujetos en muchas veces a criterio del diseñador y al buen manejo del software, ya que en ambos casos seguimos la misma metodología y orden en cada uno de ellos, los datos tomados serán en cuanto al uso del programa en estudiantes o aprendices con pocas habilidades en cada uno de los programas.

Según la filosofía de lean construcción y la herramienta de los VSM, se identificaron que procesos no contribuían valor agregado al proceso de diseño, lo cual da como resultado mapas de flujo de valor en un estado futuro.

3.3.1 VSM 1. Estado futuro diseño del alineamiento horizontal Se puede visualizar en la Grafica 6.

3.3.2 VSM 2. Estado futuro diseño del alineamiento perfil. Se puede visualizar en la gráfica 7.

3.3.3 VSM 3. Estado futuro diseño de las secciones transversales. Se puede visualizar en la gráfica 8.

3.3.4 VSM 4. Estado futuro movimiento de tierras. Se puede visualizar en la gráfica 9.

3.3.5 VSM 5. Estado futuro producción de planos Se puede visualizar en la gráfica 10

Figura 2. VSM Diseño del alineamiento horizontal.

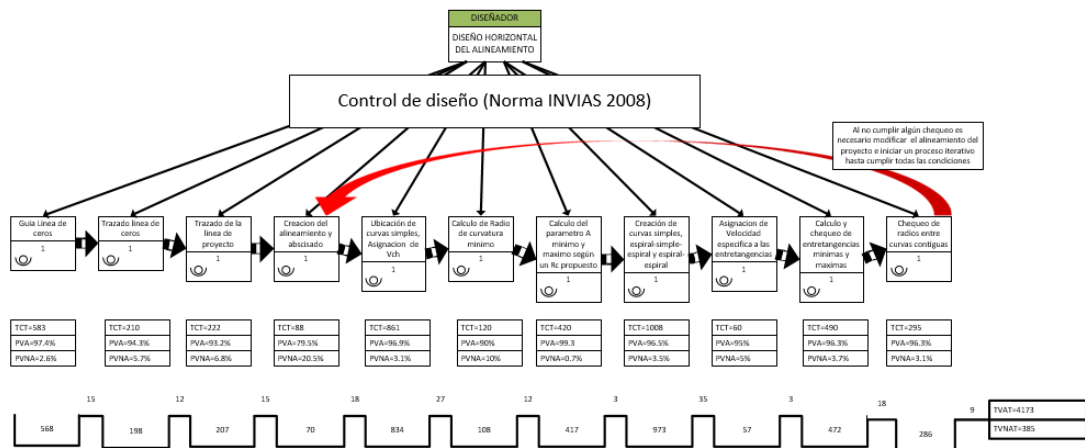


Figura 3. VSM Diseño del alineamiento en perfil.

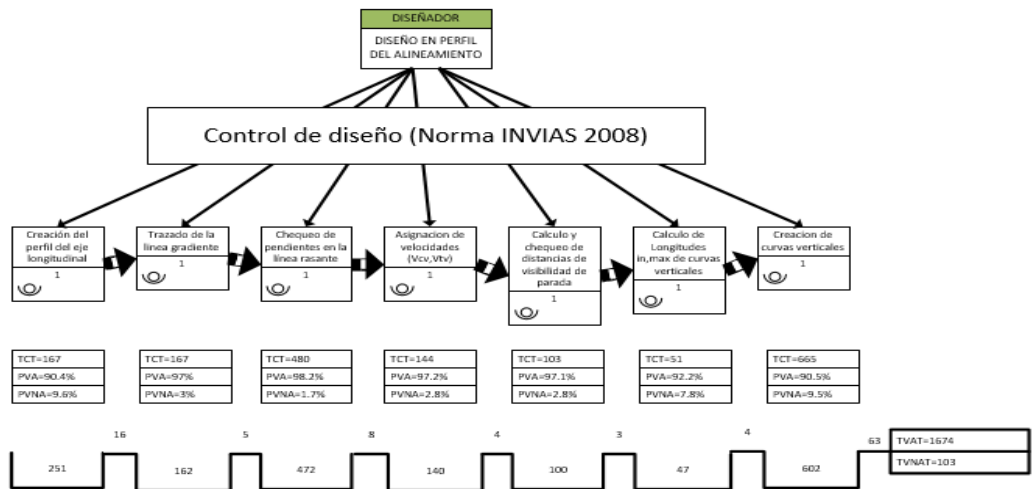


Figura 4. VSM Diseño de secciones transversales.

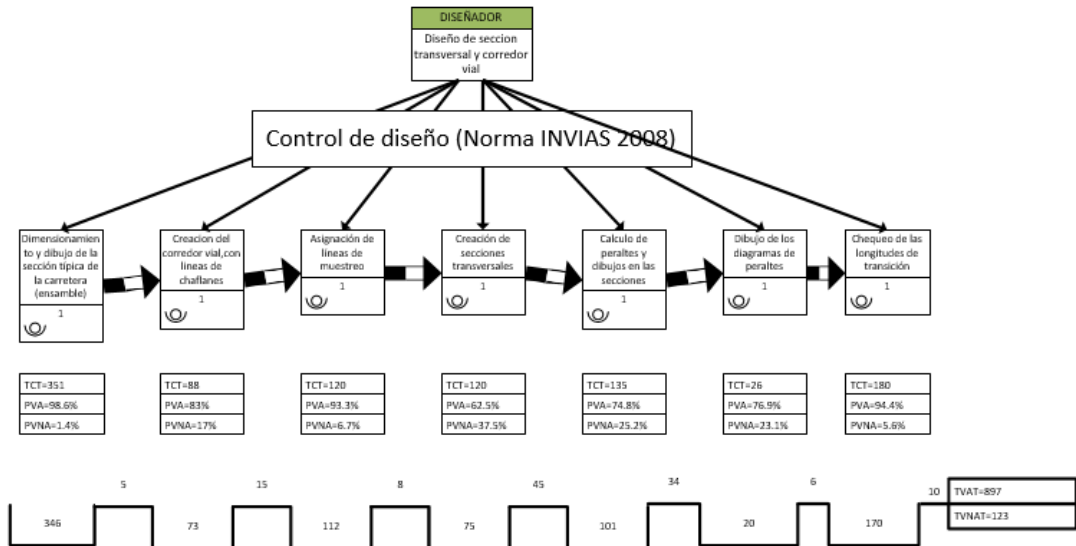


Figura 5. VSM Movimiento de masas.

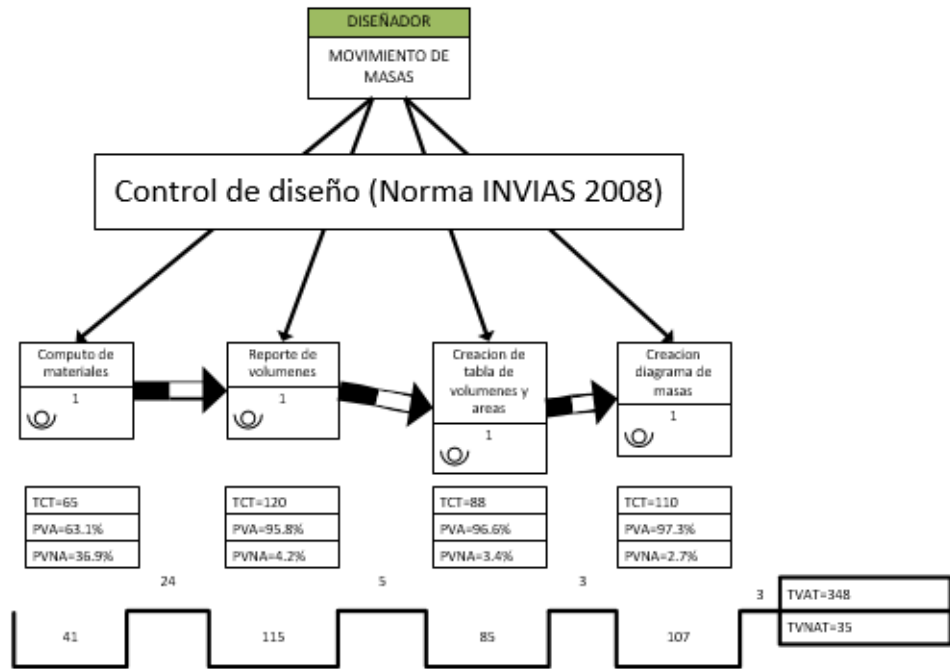


Figura 6. VSM estado futuro diseño alineamiento horizontal.

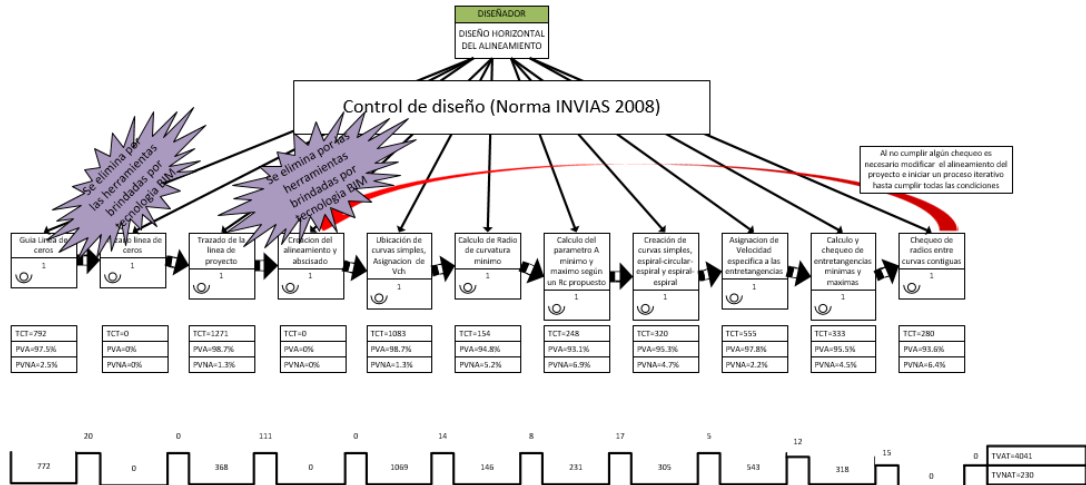


Figura 7. VSM estado futuro diseño del alineamiento en perfil.

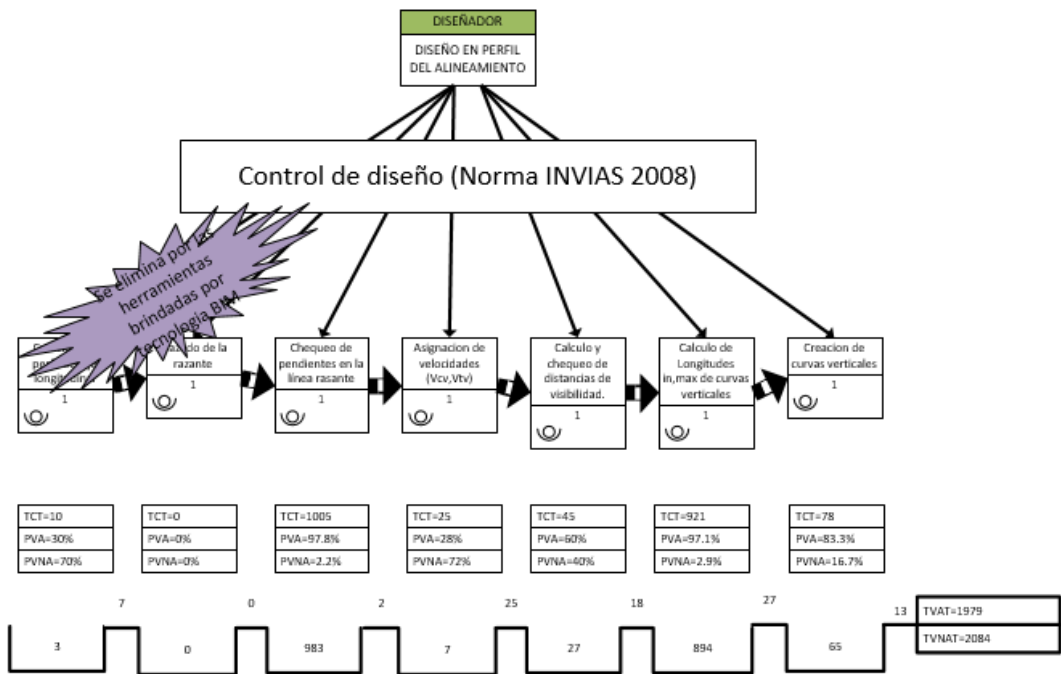


Figura 8. VSM estado futuro diseño secciones transversales.

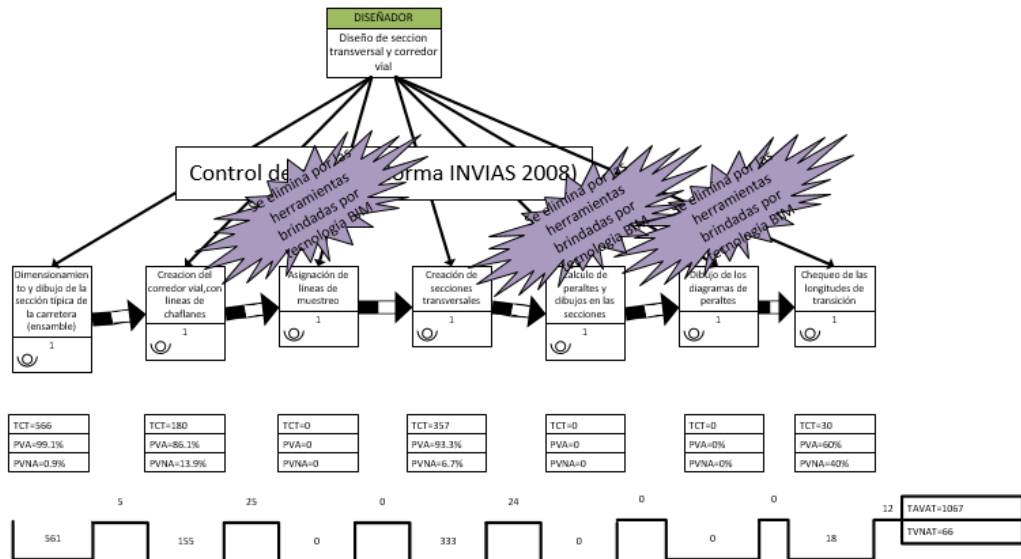
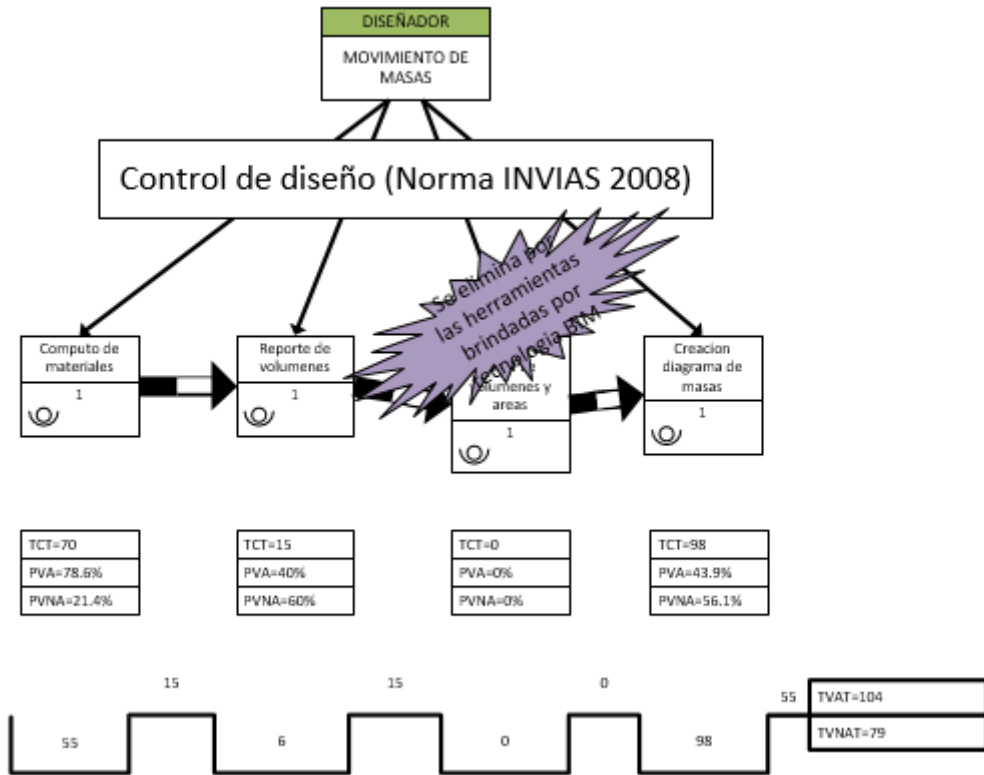


Figura 9. VSM estado futuro movimiento de tierras.

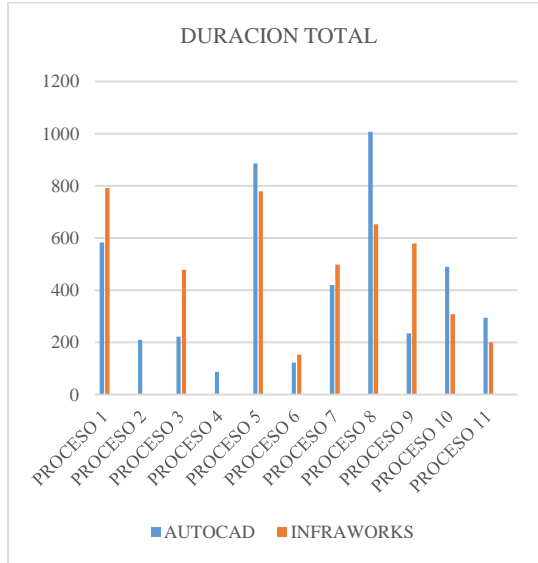


3.4 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS AFECTADOS POR BIM

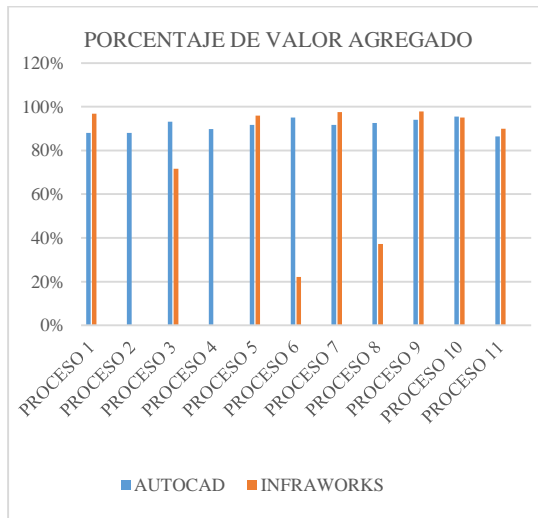
Con los tiempos e indicadores registrados fruto de los análisis a los videos y anotados en cada VSM, se procedió a hacer la comparación en la duración total y un factor importante como lo es el valor agregado que tiene cada proceso del VSM a la hora de implementar BIM, para así identificar de que manera estos mismos son afectados ya sea en un aumento o disminución de los tiempos de ciclo como se muestra en las siguientes graficas.

3.4.1 VSM 1. Diseño en planta del alineamiento.

Gráfica 1. Comparación de tiempos de ciclo del VSM1.

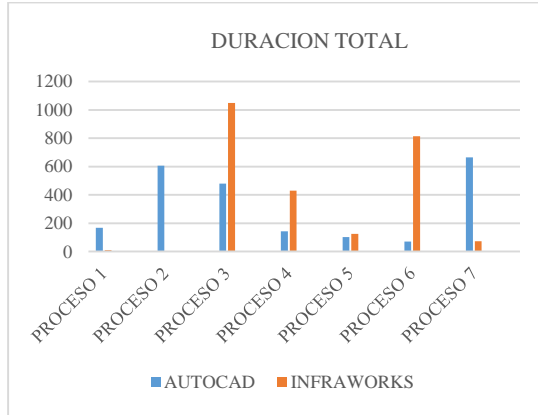


Gráfica 2. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 1.

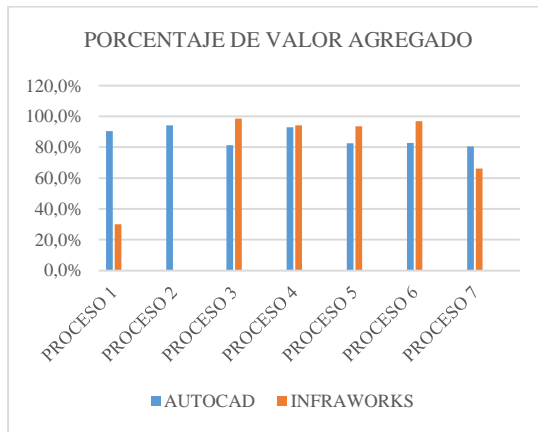


3.4.2 VSM 2. Diseño en perfil del alineamiento.

Gráfica 3. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 2.

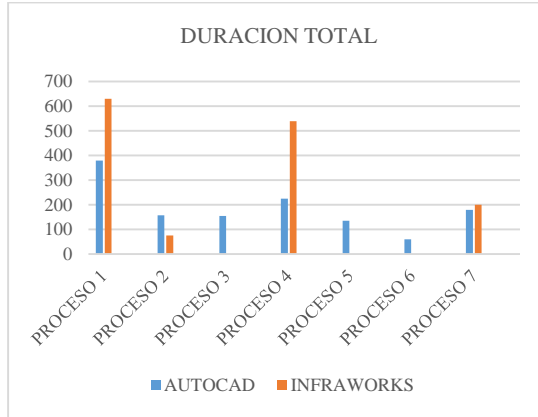


Gráfica 4. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 2.

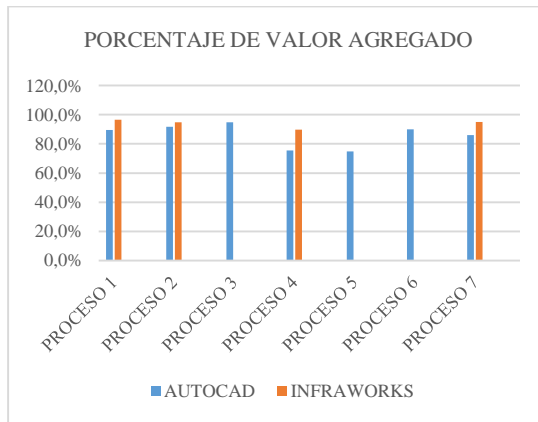


3.4.3 VSM 3. Diseño de secciones transversales.

Gráfica 5. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 3.

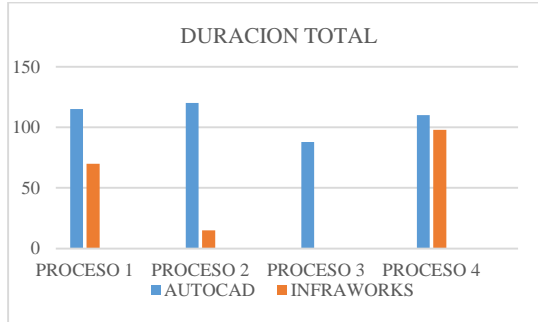


Gráfica 6. Comparacion porcentaje de valor agregado VSM 3.

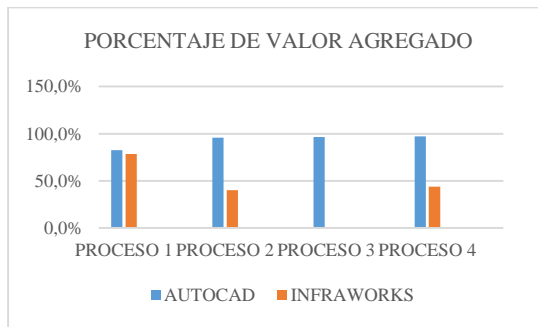


3.4.4 VMS 4. Movimiento de masas.

Gráfica 7. Comparación de tiempos de ciclo del VSM 4.



Gráfica 8. Comparación porcentaje de valor agregado VSM 4.



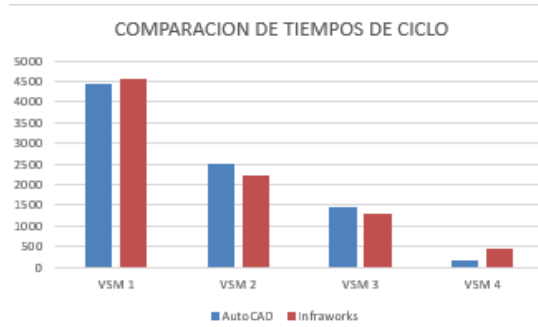
3.5 ESTIMACIÓN DE AUMENTOS Y REDUCCIONES DE TIEMPOS DE CICLO

se calcula con los datos obtenidos los tiempos de reducción o aumento en los procesos de diseño obteniendo los valores de aumento o disminución de los tiempos de ciclo de cada proceso.

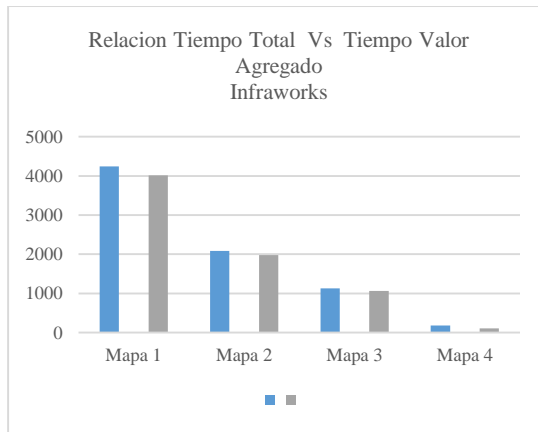
Podemos observar que, en los procesos seguidos por el manual de diseño geométrico de vías, los tiempos de cálculo no varían mucho de un programa a otro, ya que el cálculo se realiza de igual manera para ambos casos solo cambiando en la cantidad de elementos como curvas horizontales, longitud de vía, etc; ya que cada

programa nos brinda más facilidades en cuanto a este tipo de variables y debimos tenerlas en cuenta para el mejor desarrollo en cada software y el cálculo de tiempos más exactos en cada momento.

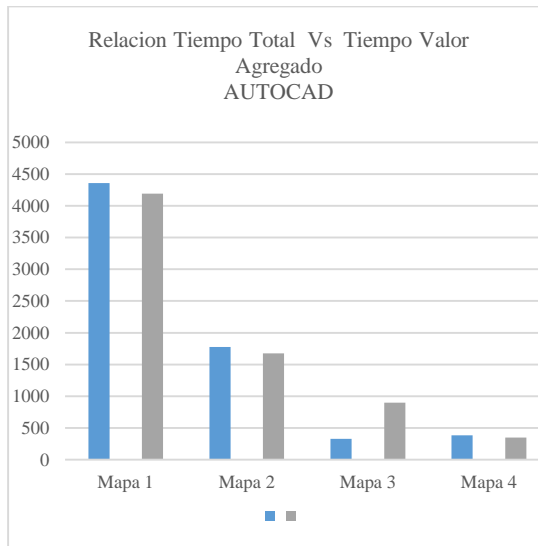
Gráfica 9. Comparacion tiempo de ciclo total.



Gráfica 10. Comparación tiempo de valor agregado y tiempo de ciclo total en el diseño por Infraworks.



Gráfica 11. Comparación tiempo de valor agregado y tiempo de ciclo total en el diseño por AutoCAD civil 3d



Debido a las bondades que nos ofrece el software Infraworks nos permite tener una mejor exactitud en cuanto al diseño, ya que nos proporciona herramientas como una visualización de la geografía en tercera dimensión y georreferenciada.

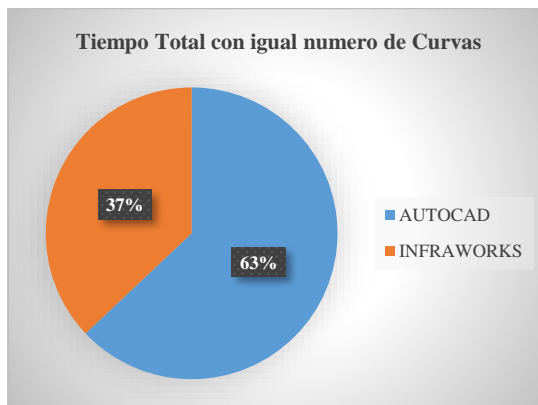
Debido a esto se realizaron mas curvas en el proceso de diseño al implementar la tecnología BIM, ya que podíamos ver zonas urbanizadas, cuerpos de agua.

En el caso de estudio la cercanía a un rio y la visibilidad de este en 3D permitió tener un mejor diseño para el ecosistema aumentando la cantidad de curvas verticales y horizontales con una diferencia de 9 curvas comparadas con el modelo en AutoCAD. Esto hizo que los datos calculados en los procesos asociados al diseño de curvas aumentara al implementar la tecnología BIM; para tener un resultado se observó que el diseño de las curvas intervienen en 11 procesos.

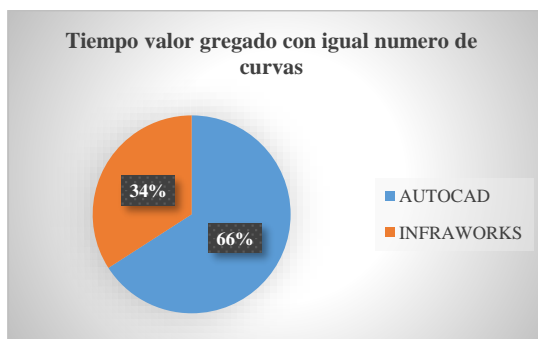
Para obtener resultados mas confiables hallamos los tiempos de los procesos en las curvas ,en curvas verticales y horizontales, esto dividido en la cantidad de curvas, resulta como tiempo promedio para realizar una curva en los procesos afectados,

después de esto al tiempo total de Infracworks le restamos el tiempo promedio de cada curva multiplicado por la diferencia de cada curva a comparación del software autocad esto da el tiempo promedio realizado con la misma cantidad de curvas en ambos software arrojando el siguiente resultado graficado en las siguientes gráficas.

Gráfica 12. Comparación tiempo total con igual numero de curvas en los 2 modelos.



Gráfica 13. Comparación tiempo de valor agregado con igual numero de curvas en los 2 modelos.



4. CONCLUSIONES.

La filosofía lean construcción junto con la herramienta llamada mapas de flujo de valor (VSM) aplicadas al estudio de procesos de diseño geométrico, en donde el caso de estudio principal son los tiempos de ciclo de estos procesos facilitaron la identificación de procesos que se ven afectados por tecnologías BIM, así como a la hora de estimar reducciones o aumentos en los tiempo de ciclo hallados, lo cual ayuda a generar mayor valor agregado a la hora de diseñar.

A la hora de la implementación de tecnología BIM, se observó que se eliminaron procesos, que eran necesario hacerlos en software tradicionales, como a la hora de definir propiedades o atributos a dibujos o objetos, mientras que la tecnología BIM ya tiene herramientas prediseñadas, es decir no es necesario trazar polilíneas para luego darle atributo de alineamiento si no que por el contrario se va trazando una carretera ya predimensionada y con atributo de alineamiento.

A la hora de la medición en tiempos de ciclo de los procesos de diseño se pudo observar que los que tenían tiempos de ciclo más altos están relacionados a procesos de diseño de curvas, ya sea verticales u horizontales evidenciando que un factor que altera de una manera considerada las duración total del proceso de diseño geométrico de una carretera, es la cantidad de curvas que cada proyecto vial requiera.

En el caso de la comparación de tiempo de valor agregado podemos darnos cuenta que en el software AutoCAD es mayor que en el software Infravorks, esto se debe a que sus herramientas nos ofrecen una excelente interfaz, pero su requerimiento en cuanto a máquina para generar modelos, sistema operativo, entre otras opciones de la computadora, es mucho más exigente, es decir, se presentaron más demoras

en tiempos donde el programa tardaba en ejercer la herramienta a utilizar, trabada en responder a comandos de alta exigencia, etc, el programa AutoCAD no genera tanta necesidad de una excelente máquina, pero pese a esto, los tiempos totales en cuanto a todos los procesos en general, sigue siendo más rápido y eficaz el software Infracore.

Cada día más ingenieros están apostando por utilizar las herramientas BIM, en esta investigación ratificamos una de tantas ventajas que estos software nos ofrecen, como lo es el tiempo que se gastan las personas a la hora de diseñar, arrojando resultados bastante favorables reduciendo aproximadamente los tiempos de diseño de carreteras en una tercera parte

Para finalizar, podemos tener una clara conclusión, apoyada en gráficas y datos tomados y mostrados en la sección de resultados, La tecnología BIM es mucho más eficaz en cuanto a tiempos y mejor aún, en cuanto a cuidado y localización de ecosistemas, dado estos datos consideramos que es de gran importancia el abarcar las nuevas tecnologías en cada una de las ramas de la enseñanza de la ingeniería civil en nuestra UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, apoyándonos en nuevas maneras más amigables con todas las formas de diseño y manejo de vías que nos ofrecen las diferentes empresas, estar a la vanguardia en cuanto a nuevos sistemas y mejoras, creando profesionales más capaces y competitivos en el ámbito laboral y profesional.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO J., “Diseño Geometrico de Vías Ajustado al Manual Colombiano,” p. 531, 2002.

AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry, *Lean Construction Journal*, 2012 105-121.

BALLARD G., “Cycle Time Reduction in Home Building,” *Construction*, pp. 1–9, 2001.

CAMACOL, “El sector de la construcción en Colombia: hechos estilizados y principales determinantes del nivel de actividad,” *Camara Colomb. la construcción*, p. 40, 2008.

CARDENAS G, James. *Diseño Geométrico de Vías. Segunda Edición*, Bogotá, Ediciones Ecoe, 2000. 320 p.

CARRETERA D. E. U. N. A., “Manual de diseño Geometrico de Carreteras.”

CHONG H. Y., LOPEZ R., WANG J., WANG X., and ZHAO Z., “Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 32, no. 6, pp. 1–13, 2016.

CONSEJO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE. *Acerca del CCCS*, consultado 7 Marzo 2018. En: <https://www.cccs.org.co/wp/acerca-del-cccs/>.

DAVE B., S KUBLER., FRAMLING K., and KOSKELA L., “Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction,” J. Constr. Eng. Manag., vol. 136, no. 9, pp. 968–980, 2010.

DÍAZ H. P., RIVERA O. Giovanni, S., J. Alberto, and GUERRA G., “Resumen Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review,” Av. Investig. en Ing., vol. 11, no. 1, pp. 1794–4953, 2014.

EL ESPECTADOR. Corrupcion y construccion, consultado 7 Marzo 2018. En: <https://www.elespectador.com/opinion/corrupcion-y-construccion-columna-691593>.

ILOZOR, B.D, Kelly, D.J. Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the commercial Construction industry: a conceptual study, Journal of engineering, project and production management, 2 (1), 2012 23-36.

LEAN BIM CONSTRUCTION El blog lean de la construccion. Autodesk BIM 360, consultado 10 de marzo 2018. En: <http://leanbimconstruction.com/autodesk-360>.

LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE. What is Lean Construction, consultado 5 de Octubre 2013. En: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>.

LEAN SOLUTIONS. VSM, Value Stream Mapping, consultado 13 de marzo 2018. En: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>.

LU W., PENG Y., SHEN Q., and LI H., “Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks,” J. Constr. Eng. Manag., vol. 139, no. 2, pp. 195–203, 2013.

LU W., PENG Y., SHEN Q., and LI H., "Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks," J. Constr. Eng. Manag., vol. 139, no. 2, pp. 195–203, 2013.

MINISTERIO DEL TRANSPORTE. Manual de Diseño Geométrico para Carreteras. Bogotá, Instituto Nacional de Vías, 1997. 259 p.

ORIHUELA Pablo. Lean Construction en el Perú, consultado 10 de octubre 2013, En: <http://www.motiva.com.pe/Articulos/Lean%20Construction%20en%20el%20Peru.pdf>.

SCRIBD . Proyecto vial I. El proyecto de carreteras, consultado 13 de marzo 2018, En:<https://es.scribd.com/doc/51547824/1-El-proyecto-de-carreteras>.

ANEXOS

Anexo A. Datos de medición.

| Nombre | Abrev. | Un. | Significado |
|------------------------|--------|------|--|
| Tiempo de Inicio | TI | Seg. | Tiempo de inicio del proceso de diseño. |
| Tiempo de Finalización | TF | Seg. | Tiempo de termino del proceso de diseño. |
| Duración Total | DT | Seg. | Duración de un proceso. |

Anexo B. Indicadores.

| Nombre | Abrev. | Un. | Significado |
|------------------------------|---------------|------------|---|
| Tiempo de ciclo total | TCT | Seg. | Tiempo total en el que se completa una etapa del proceso de diseño geométrico de una vía. Cuantifica la duración total de la cadena. |
| Tiempo de valor agregado | TVA | Seg. | Suma de tiempos de la cadena de valor en los que se agrega valor a la etapa de diseño geométrico de una vía. Cuantifica el tiempo que agrega valor a la cadena. |
| Porcentaje de valor agregado | PVA | % | Entrega el porcentaje de tiempo que representa el TVA sobre el TCT. Cuantifica el aprovechamiento total del tiempo en la cadena de valor. |
| Tiempo de valor no agregado | TVNA | Seg. | Suma de tiempos de la cadena de valor en los que se agrega valor a la etapa de diseño geométrico de una vía. Cuantifica el tiempo que agrega valor a la cadena. |