

Integración de BIM y Lean Construction en la fase de planificación de proyectos de construcción, para la reducción de pérdidas por interferencias

Presentado por:

Ellehn Juliana de los Ángeles Moreno Villamizar, Talhia Fernanda Prada Pino

Trabajo de Grado para Optar el título en Ingeniería Civil

Director

Omar Giovanni Sánchez Rivera

Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Magister en Pensamiento Estratégico y Prospectiva.

Codirector

Karen Milady Castañeda Parra

Ingeniera Civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

Al grupo de investigación Geomática y al profesor Omar Sánchez por su constante apoyo
para la realización de este proyecto

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2. Marco teórico.	16
2.1 Lean Construction	16
2.2 BIM	17
2.3 Value Stream Mapping (VSM)	17
3. Metodología	18
3.1 Detección de interferencias con BIM	18
3.2 Detección de interferencias con Navisworks	31
3.3 Estimación del ahorro de revisión en BIM	33
3.4 Estimación de costos en obra	35
4. Resultados	37
4.1 Interferencias detectadas con Revit	37
4.2 Estimación del ahorro por concepto de la detección temprana de interferencias en el caso de estudio.	42

5. Discusión	43
5.1 Interpretación de las gráficas	43
5.2 Uso de la herramienta VSM de la filosofía Lean Construction para el mejoramiento del proceso de ajustes de interferencias	44
5.3 Análisis de los costos	47
6. Conclusiones	49
Referencias bibliográficas	51

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los espacios por su uso.	28
Tabla 2. Sueldo de cada profesional.	34
Tabla 3. Tiempos estimados para resolver una interferencia.	34
Tabla 4. Costo general arreglo de interferencias.	42
Tabla 5. Costo general detección de interferencias en obra.	42
Tabla 6. Resumen costos de solucionar las interferencias.	48
Tabla 7. Resumen costos que representan las interferencias en obra.	48

Lista de Figuras

Figura 1. Iconos VSM.	18
Figura 2. Modelo arquitectónico del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.	19
Figura 3. Modelo redes hidrosanitarias y contra incendio del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.	20
Figura 4. Modelo de aire acondicionado del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.	20
Figura 5. Modelo estructural del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.	21
Figura 6. . Herramienta para linkear modelos en Revit.	22
Figura 7. Pasos para correr un análisis de interferencia en Revit.	22
Figura 8. Formato tipo para informe de interferencias del grupo de investigación Geomática.	23
Figura 9. Informe de interferencias en Revit.	24
Figura 10. Ejemplo interferencia tipo altura.	25
Figura 11. Ejemplo interferencia tipo posición.	25
Figura 12. Ejemplo interferencia tipo mixta.	26
Figura 13. Ejemplo interferencia tipo inconsistencia.	26
Figura 14. Distribución de los espacios del primer piso (N1) según arquitectura y uso de zona.	29
Figura 15. Distribución de los espacios del segundo piso (N2) según arquitectura y uso de zona.	29
Figura 16. Distribución de los espacios del tercer y cuarto piso (N3, N4) según arquitectura y uso de zona.	30
Figura 17. Distribución de los espacios del quinto piso (N5) según arquitectura y uso de zona.	30
Figura 18. Ejemplo visualización 1 informe de interferencias Navisworks.	32

Figura 19. Ejemplo de visualización 2 informe de interferencias Navisworks.	32
Figura 20. Análisis de precios unitarios para corrección interferencia ARQ vs EST.	35
Figura 21. Análisis de precios unitarios de detección en obra de interferencia ARQ vs EST.	37
Figura 22. Total interferencias.	38
Figura 23. Disciplinas en las que se hallan interferencias tipo inconsistencia.	39
Figura 24. Gráficas de interferencias (a) interferencias tipo Altura vs Disciplinas (c) interferencias tipo Posición vs Disciplinas (c) general entre disciplinas.	41
Figura 25. Mapa de flujo de valor del flujo de información en la fase de diseño de un proyecto de construcción realizado de la manera tradicional.	46
Figura 26. Mapa de flujo de valor del flujo de información en la fase de diseño de un proyecto de construcción optimizado.	47
Figura 27. Curva de MacLeamy.	49

Lista de Apéndices

Apéndice A.

Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca

UIS

Glosario

AA: aire acondicionado.

ARQ: arquitectura.

AUT: automatización.

BIM: building information modeling.

COM: comunicación.

EST: estructura.

LC: lean construction.

N1: primer nivel / primer piso.

N2: segundo nivel / segundo piso.

N3: tercer nivel / tercer piso.

N4: cuarto nivel / cuarto piso.

N5: quinto nivel / quinto piso.

RCI: redes contra incendio.

RHS: redes hidrosanitarias.

T.N: todos los niveles.

RESUMEN

TÍTULO: INTEGRACIÓN DE BIM Y LEAN CONSTRUCTION EN LA FASE DE PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN, PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR INTERFERENCIAS. *

AUTORES: ELLEHN JULIANA DE LOS ÁNGELES MORENO VILLAMIZAR **
TALHIA FERNANDA PRADA PINO **

PALABRAS CLAVE: BIM, LEAN CONSTRUCTION, INTERFERENCIAS, ESTIMACIÓN, DETECCIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El presente artículo busca señalar el beneficio de la integración de la filosofía Lean Construction (LC) con las herramientas BIM (Building Information Modeling) desde etapas tempranas de diseño de edificaciones, para hacerlo se toma como caso de estudio el edificio D de la sede bicentenario de la UIS, ubicado en el municipio de Socorro, Santander, cuya finalidad es servir de espacio para las aulas de clase. A esta edificación, se le realiza un análisis de las interferencias halladas entre los modelos BIM de los sistemas que la componen, por parte del grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, tras la clasificación y cuantificación de las interferencias, se realiza la estimación del ahorro que representa la detección temprana de dichas interferencias. Se muestra una posible optimización al proceso de comunicación entre los especialistas tras la aplicación de la herramienta de LC, mapa de flujo de valor (VSM), la cual se utiliza para identificar actividades innecesarias o repetitivas dentro de un proceso. Este análisis se realizó para los diseños recopilados entre el cinco de junio de 2017 al siete de septiembre de 2017. Los diseños de los sistemas siguieron su proceso de ajuste por parte de los profesionales encargados con el apoyo del grupo de investigación Geomática.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

ABSTRACT

TITLE: BIM AND LEAN CONSTRUCTION INTEGRATION IN THE PLANNING PHASE OF CONSTRUCTION PROJECTS FOR THE REDUCTION OF LOSSES DUE TO INTERFERENCES

AUTHORS: ELLEHN JULIANA DE LOS ÁNGELES MORENO VILLAMIZAR **
TALHIA FERNANDA PRADA PINO **

KEYWORDS: BIM, LEAN CONSTRUCTION, INTERFERENCES, ESTIMATION, DETECTION.

DESCRIPTION:

This article seeks to point out the benefits of the integration of the Lean Construction philosophy with BIM tools from early stages of building design, in order to do so, the D building of the Bicentenario of the UIS is taken as case study, located in Socorro, Santander, the purpose of this building is to serve as classrooms. To this building, an analysis of the interferences found in their BIM models of the different systems that compose it, is done by the investigation group Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, after the classification and quantification of the interferences, the estimation of the savings represented by the early detection of these interferences is made. It is shown a possible optimization to the communication process between the specialists after the application of the LC tool, value stream mapping (VSM), which is used to identify unnecessary or repetitive activities within a process. This analysis was carried out for the designs collected between June 5, 2017 and September 7, 2017. The designs of the systems followed their adjustment process by the professionals in charge with the support of the investigation group Geomática and currently, they are awaiting approval for the execution of the construction.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera

Introducción

Las obras civiles son cada vez más complejas y la competitividad del mercado exige mayores estándares tanto para el diseño como para la administración de las mismas, de manera que se logre obtener mayor eficiencia en los productos finales. Para que un proyecto se desarrolle satisfactoriamente debe estar bien organizado desde su comienzo, por ello es necesario que sus procesos de gestión, logísticos y técnicos se encuentren en mejoramiento continuo, esto se puede lograr con la aplicación de la filosofía Lean Construction.

Por su parte, BIM es una herramienta tecnológica que permite generar modelos detallados de cualquier infraestructura, permitiendo evaluar el comportamiento en conjunto de sus componentes. Al combinar la filosofía LC con las herramientas BIM se puede lograr reducir las pérdidas que se presentan en la construcción de una edificación partiendo, incluso, desde la etapa de concepción del proyecto.

En este artículo se muestran los beneficios que se pueden obtener al integrar la herramienta VSM de LC y BIM desde la fase de planificación de los proyectos de construcción por la identificación de las interferencias e incompatibilidades entre los diseños, que pueden ser identificadas a través del conjunto de funcionalidades que ofrecen las herramientas BIM, en este caso Revit. La detección temprana de las interferencias permitiría tener un mayor control ante los inconvenientes que puedan presentarse en las etapas constructivas reduciendo así gastos por imprevistos (Alzate, 2017), (Guzmán, 2014).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer un método para la integración de BIM y Lean Construction en la fase de planificación de proyectos de construcción, para la reducción de pérdidas por interferencias entre elementos.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las interferencias entre elementos que pueden presentarse durante la planificación de proyectos de construcción tipo edificación.
- Identificar un conjunto de funcionalidades de BIM para la detección y ajuste de interferencias entre elementos, con el marco teórico de la filosofía de gestión Lean Construction.
- Estimar el ahorro que es posible lograr con la integración de BIM y Lean Construction, para la detección y ajuste de colisiones en la etapa de planificación de proyectos tipo edificación, a partir de un caso de estudio.

2. Marco teórico.

2.1 Lean Construction

Lean es una filosofía orientada a la gestión de proyectos basada en los principios del sistema de producción de la industria automotriz que tiene su origen en Japón a finales de los años 50 e inicios de los 60, busca la reducción de residuos en los procesos (actividades innecesarias que le restan valor al proyecto), y de esta manera optimizar las actividades que continuamente agregan valor a los proyectos (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014), (Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010), (Bertelsen, 2004), (Hamed Issa, 2013). En 1992 Lauri Koskela adaptó los principios empleados por Toyota Motor al sector de la construcción dando como resultado a “construcción sin pérdidas” (LC) (Porras et al., 2014), (Howell, 1999), (Koskela, 1992). La filosofía de la construcción sin pérdidas se basa en 16 principios: reducción de la variabilidad, reducción del tiempo de los ciclos, aumentar la flexibilidad, asociada a la capacidad operacional de las estaciones de trabajo, selección del alcance apropiado para el control de producción, estandarización, institución de la mejora continua, dirección visual, diseño del sistema de producción para flujo y valor, asegurar la detección de los requisitos generales, enfocarse en la selección de conceptos de diseño, asegurarse que incluso los requisitos mínimos se satisfacen, la verificación y validación, supervisión de los trabajos, toma de decisiones por consenso y cultivar una red de colegas extendida. (Sacks, et al., 2010), (Walasek & Barszcz, 2017), (Alarcón & Pellicer, 2009).

2.2 BIM

Building Information Modeling, es una herramienta tecnológica que permite crear modelos detallados de cualquier infraestructura durante todo su ciclo de vida, se pueden generar modelos de los diferentes sistemas que componen el proyecto, (estructura, arquitectura, redes, ventilación, etc.), y evaluar su acoplamiento haciendo posible identificar en etapas de diseño interferencias entre ellos, aumentando así la productividad y la precisión en el diseño y construcción de edificios (Porrás H. , Sánchez, Galvis, & Castañeda, 2015). Entre las características funcionales de BIM se encuentran: la forma de visualización, la generación rápida de múltiples alternativas de diseño, uso de datos modelo para el análisis predictivo del comportamiento de edificios, almacenamiento de la información y la integridad del diseño del modelo, generación automatizada de dibujos y documentos, rápida generación y evaluación de alternativas del plan de construcción, entre otras, las cuales se pueden agrupar en 4 grupos, pre-constructivos, de diseño, de construcción y fabricación y post-constructivos (Porrás H. , Sánchez, Galvis, & Castañeda, 2015), (Lu, Liang, Fung, & Rowilson, 2014).

2.3 Value Stream Mapping (VSM)

El mapa de flujo de valor (Value Stream Mapping, VSM) es una de las herramientas de LC que permite identificar las partes de un proceso que restan valor a la operación y así proponer mejoras que reduzcan esas pérdidas a través de la visualización todas las actividades que se realizan de principio a fin (Johann, 2017).

Entre la simbología existente para generar un mapa de flujo de valor se encuentran:

- Cliente/proveedor: cuando se ubica en la esquina superior izquierda representa al proveedor, si se ubica en la esquina superior derecha, representa al cliente. Figura 1 (a).
- Flujo de proceso específico: representa un único departamento, operación de proceso o equipo. Figura 1 (b).
- Información electrónica: intercambio de información vía electrónica. Figura 1 (c).
- Información manual: informes, memos y demás documentación transmitida manualmente. Figura 1 (d).
- Inventario: inventario entre dos procesos. Figura 1 (e).

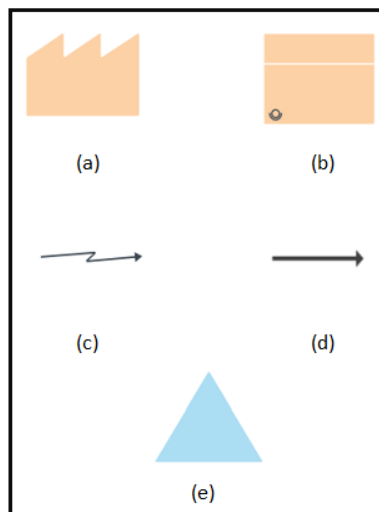


Figura 1. Iconos VSM. Recuperado de. <https://www.lucidchart.com/pages/es/iconos-y-s%C3%ADmbolos-de-mapas-de-flujo-de-valor>

3. Metodología

3.1 Detección de interferencias con BIM

Para empezar a realizar un análisis de interferencias entre las diferentes disciplinas que componen un proyecto de ingeniería, en este caso en particular un edificio, a través de herramientas BIM, específicamente Revit 2017 ® y Navisworks 2017 ®, lo primero que debe hacerse es modelar cada uno de los sistemas que componen la edificación de forma independiente y en concordancia a lo estipulado en los planos dados por los diseñadores.

En el caso particular del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS, ubicado en el municipio del Socorro, Santander, los modelos BIM de la arquitectura (Figura 2) los sistemas de redes hidrosanitarias (Figura 3), aire acondicionado (Figura 4) fueron entregados por los diseñadores, mientras que el modelamiento del sistema estructural (Figura 5) y todos los componentes eléctricos (iluminación, automatización y comunicación) fueron realizados por el grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas.

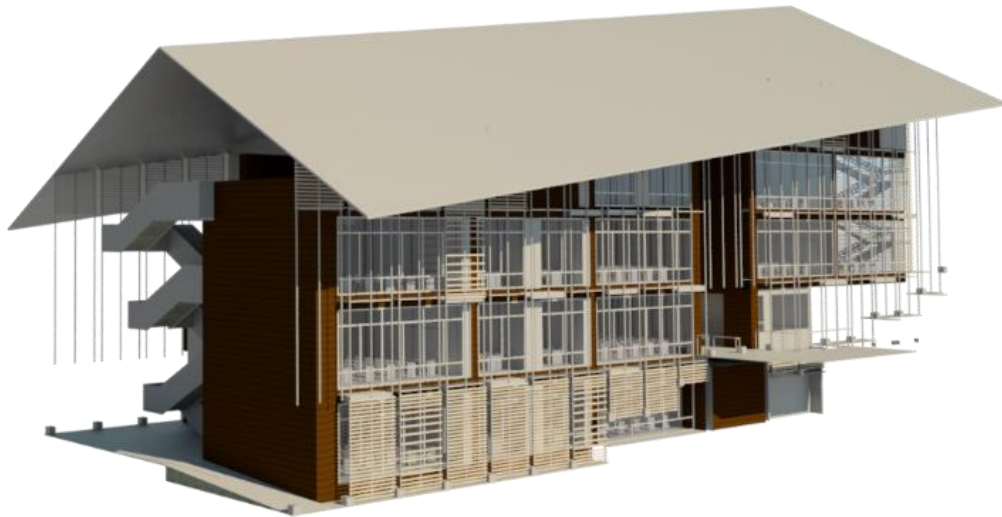


Figura 2. Modelo arquitectónico del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.

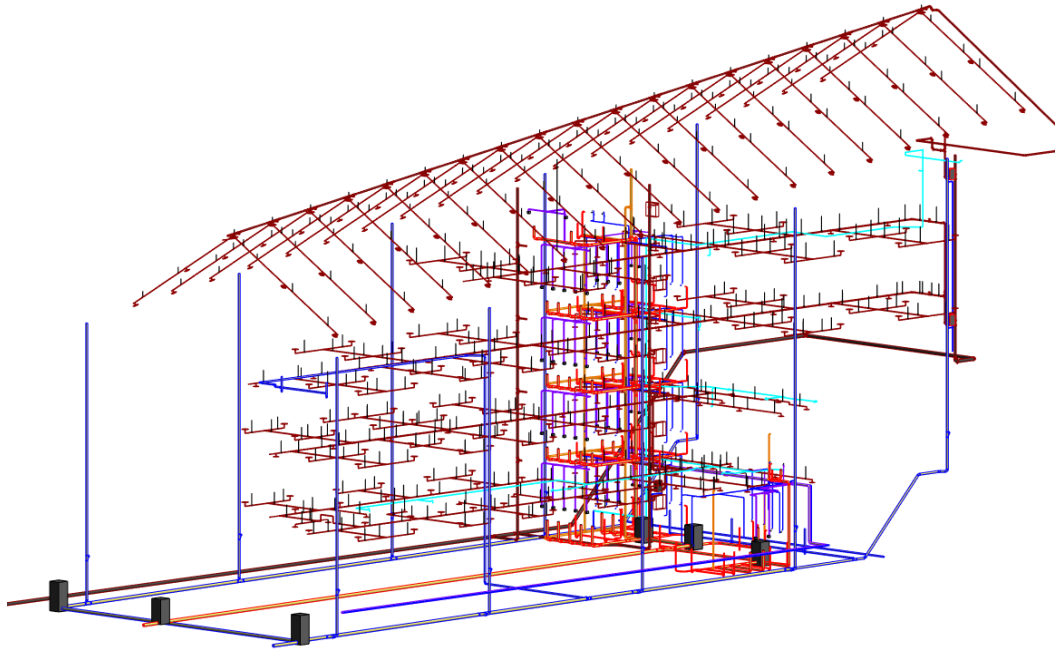


Figura 3. Modelo redes hidrosanitarias y contra incendio del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.

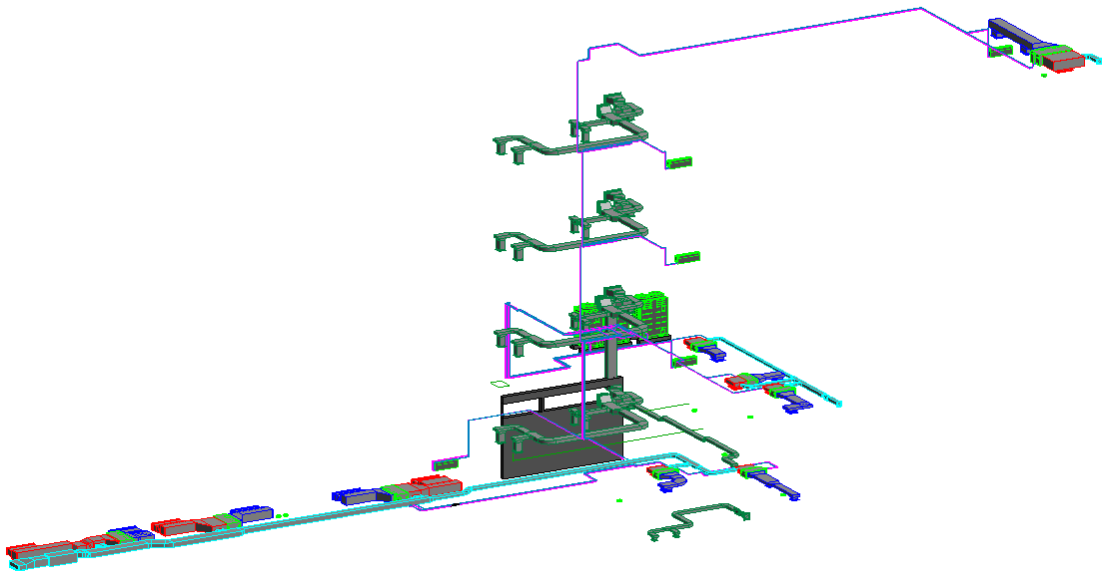


Figura 4. Modelo de aire acondicionado del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.

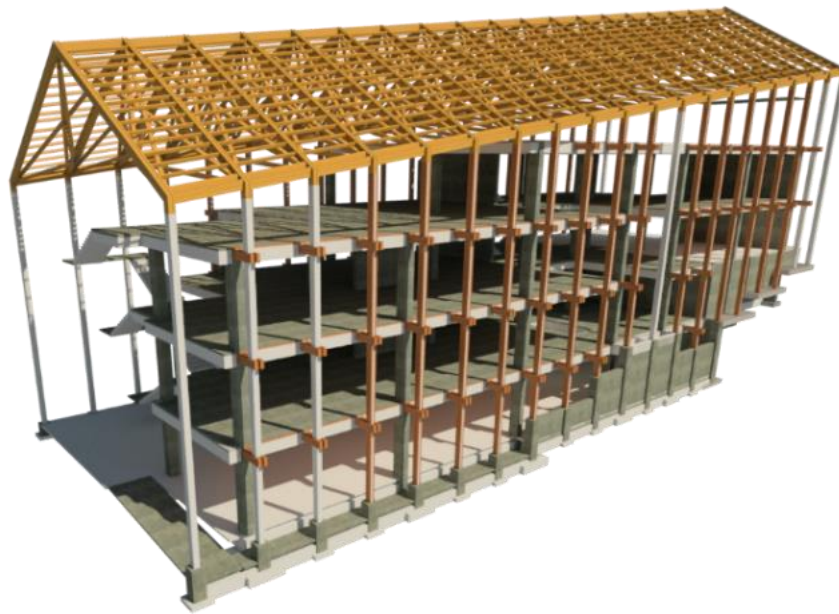


Figura 5. Modelo estructural del edificio D de la sede Bicentenario de la UIS.

Una vez los modelos estuvieron completos se procede a acoplarlos en el software Revit a través de la opción de link revit del módulo insertar archivos “Insert” (ver Figura 6) y se realiza un análisis de interferencias utilizando la opción de comprobación de interferencias “Interference check” que está en el módulo colaborar, esta herramienta permite seleccionar las categorías de los elementos a evaluar y hace un rastreo en todo el modelo detectando las colisiones entre los elementos seleccionados (ver Figura 7).

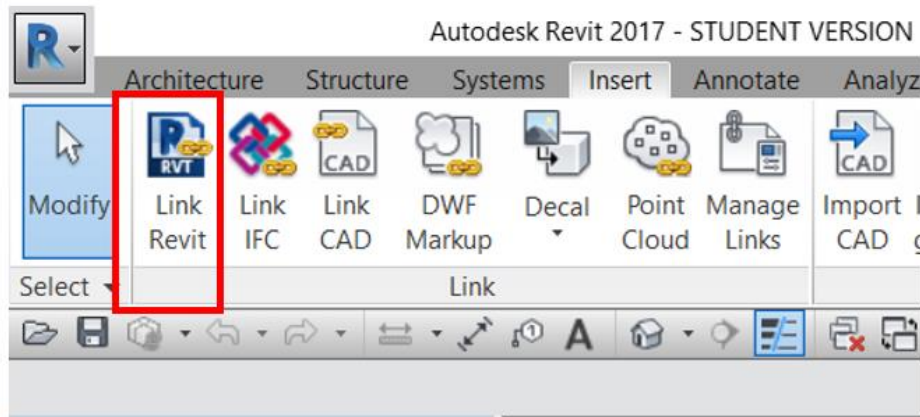


Figura 6. . Herramienta para linkear modelos en Revit.

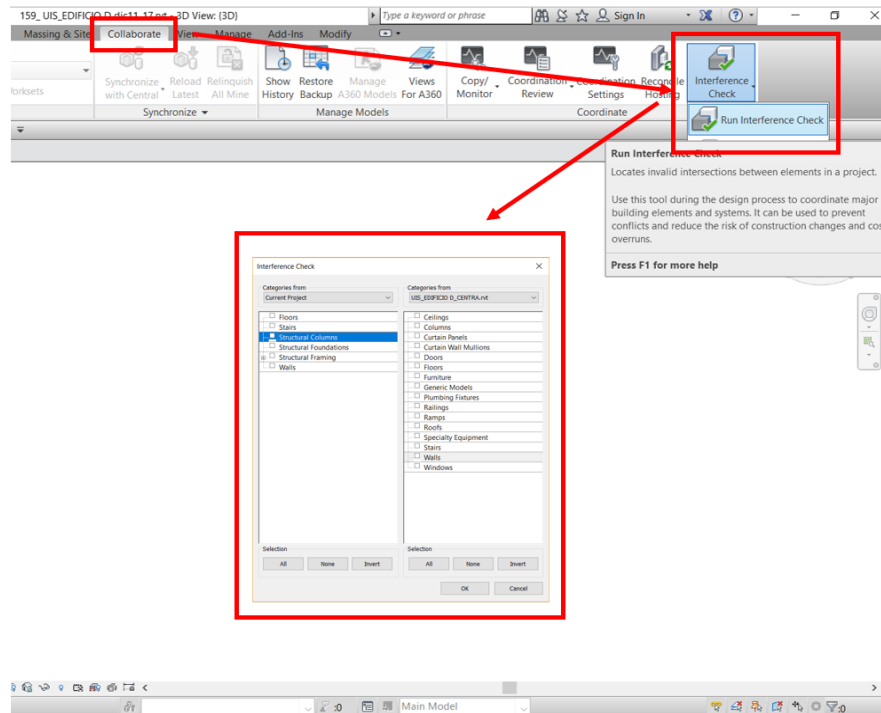


Figura 7. Pasos para correr un análisis de interferencia en Revit.

El paso siguiente es tomar nota de las interferencias encontradas para dar informe a los diseñadores. El formato utilizado por el grupo de investigación se muestra en la figura 8.

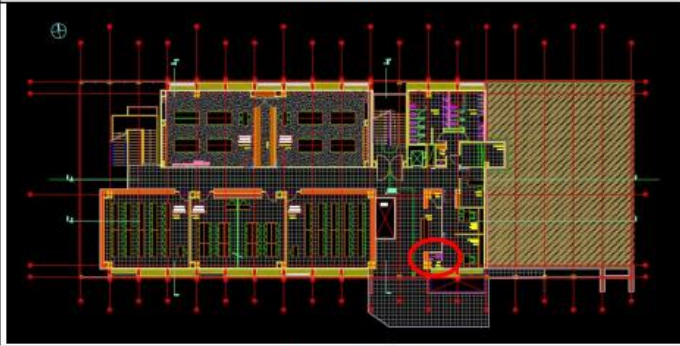
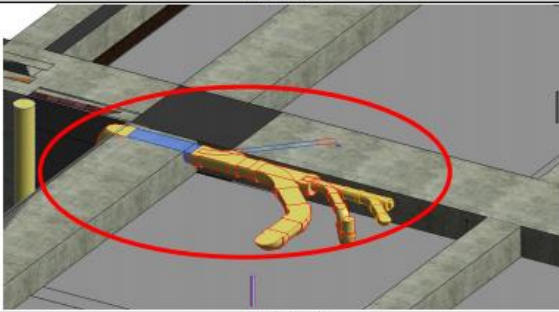
PROYECTO			
SEDE DE SOCORRO			
CAPITULO	SUBCAPITULO	OBSERVACIÓN	001
REDES HIDROSANITARIAS	ARQUITECTURA	INTERFERENCIAS	
LOCALIZACIÓN			
			
OBSERVACIÓN			
Nivel 2, la tubería sanitaria, se cruza con la estructura en concreto reforzado.			
IMÁGENES			
			
REGISTRO			
FECHA	NOTA		
07/09/2017	Registro de la observación		
	Reporte de la observación		
	Envío de la observación		
	Atención de la observación		

Figura 8. Formato tipo para informe de interferencias del grupo de investigación Geomática.

Revit muestra el reporte de las interferencias como se muestra en la Figura 9. En el recuadro rojo, se muestra la primera categoría de los elementos analizados (en este caso tuberías), en el verde se muestra la segunda categoría, el recuadro morado señala la interferencia, la cual al

seleccionarse uno de sus componentes se resalta en el modelo. En el ejemplo se observa una interferencia del tipo posición entre las tuberías de red sanitaria con la red contra incendios.

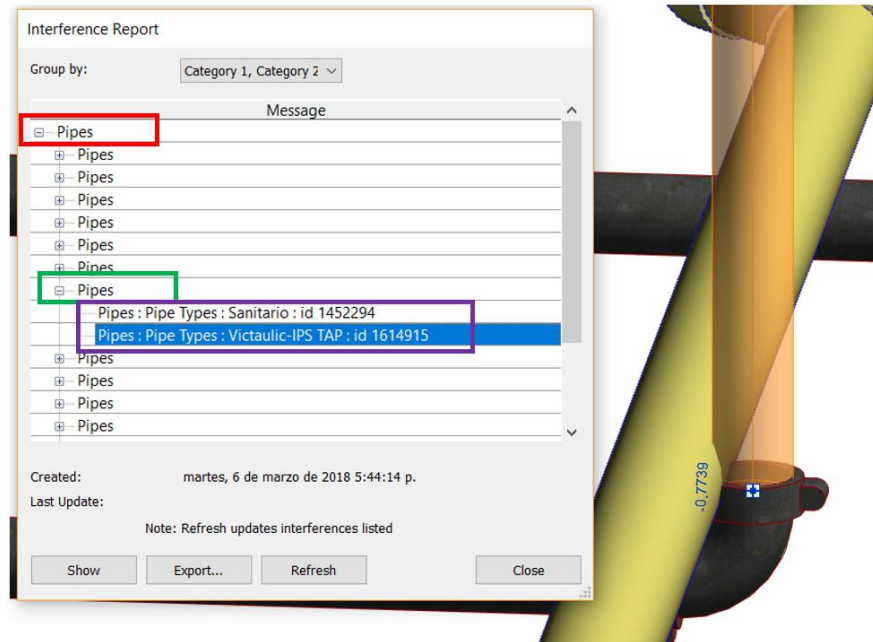


Figura 9. Informe de interferencias en Revit.

El grupo de investigación Geomática facilitó un total de 33 informes realizados entre el cinco de junio de 2017 al siete de septiembre de 2017. Con estos informes, se realizó la clasificación de las interferencias en 4 grupos:

- **Altura:** interferencias horizontales entre los elementos, se presenta cuando no se dejan los espacios libres requeridos por cada sistema, como se aprecia en la Figura 10, donde la red de agua potable se está cruzando con la red sanitaria.

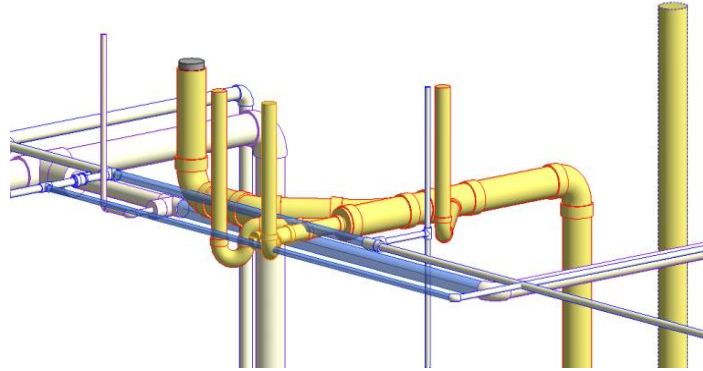


Figura 10. Ejemplo interferencia tipo altura.

- Posición: interferencias entre elementos horizontales y verticales. En la Figura 11. Se aprecia que la bajante de red sanitaria está posicionada de manera que interfiere con el ducto de aire acondicionado.

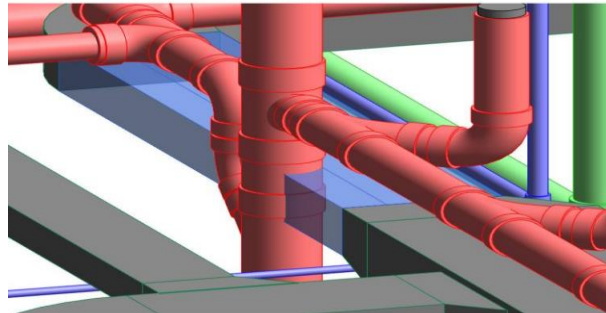


Figura 11. Ejemplo interferencia tipo posición.

- Mixta: interferencia tanto de altura como de posición, en la Figura 12 se muestra un ejemplo.

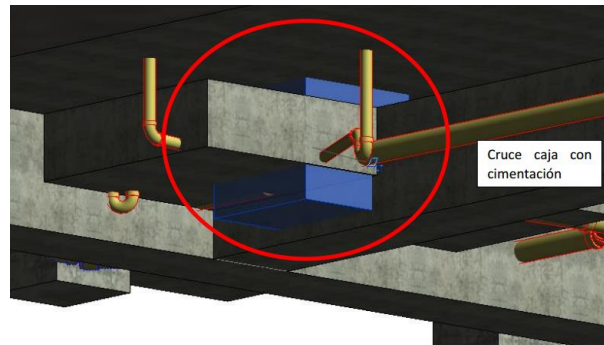


Figura 12. Ejemplo interferencia tipo mixta.

- Inconsistencia: incumplimiento de alguna norma de diseño o incongruencia entre los diseños de los sistemas. Figura 13.



Figura 13. Ejemplo interferencia tipo inconsistencia.

Es necesario aclarar que en las disciplinas eléctricas fueron consideradas solo las interferencias presentes en la categoría de “posición” ya que cuando el grupo de investigación Geomática recibió los diseños de estos sistemas para ser modelados, no se proporcionó información referente a las alturas a las que deberían ir los conductos, por lo tanto fueron modelados a altura tal que, en las zonas donde hubiera cielo raso quedarán por encima de él y por debajo de las vigas que componen el sistema estructural. El análisis detallado de las

interferencias de estos sistemas entre sí puede realizarse si se cuenta con la información necesaria.

Luego de establecidas las categorías de clasificación de las interferencias se realizó la cuantificación de las mismas en una tabla de Excel (Ver Apéndice A)

- Disciplina 1 y Disciplina 2: son las disciplinas que se están evaluando.
- Tipo de interferencia: categoría de la interferencia hallada
- Cantidad: número de veces que se presenta dicha interferencia en la edificación
- Piso: Nivel en el que se presenta la interferencia
- Uso: Uso del espacio donde se presenta la interferencia
- Imagen: Imagen de referencia de la interferencia

Las disciplinas que se evaluaron son:

- AA: aire acondicionado.
- RHS: redes hidrosanitarias
- RCI: redes contra incendio
- EST: estructura
- ARQ: arquitectura
- AUT: automatización
- COM: comunicación

Los diferentes niveles, o pisos, de la edificación se identifican con la siguiente nomenclatura:

N_i , donde la i representa el nivel correspondiente (1-5), T.N hace referencia a todos los niveles.

La clasificación de los espacios se realizó de acuerdo a su uso (ver Tabla 1), las escaleras se toman como independientes de los niveles, al igual que la cubierta y la cimentación, por ello no se identifican en la figura.

Tabla 1.
Clasificación de los espacios por su uso.

COLOR	USO DE ZONA
	Circulación
	Aulas
	Enfermería
	Baños
	Cuarto de aseo
	Oficinas/Bienestar
	Servicio técnico
	Ascensor

De la Figura 14 a la Figura 17 se muestran las distribuciones de los espacios, en la parte superior según lo establecido por el diseño arquitectónico, y en la inferior de acuerdo a los colores correspondientes según su uso de zona. Los niveles N1, N2 y N5 (Figura 14, 15 y 17) están distribuidos cada uno de forma particular, mientras que el N3 y N4 (Figura 16) tienen la misma distribución de espacios.



Figura 14. Distribución de los espacios del primer piso (N1) según arquitectura y uso de zona.



Figura 15. Distribución de los espacios del segundo piso (N2) según arquitectura y uso de zona.



Figura 16. Distribución de los espacios del tercer y cuarto piso (N3, N4) según arquitectura y uso de zona.

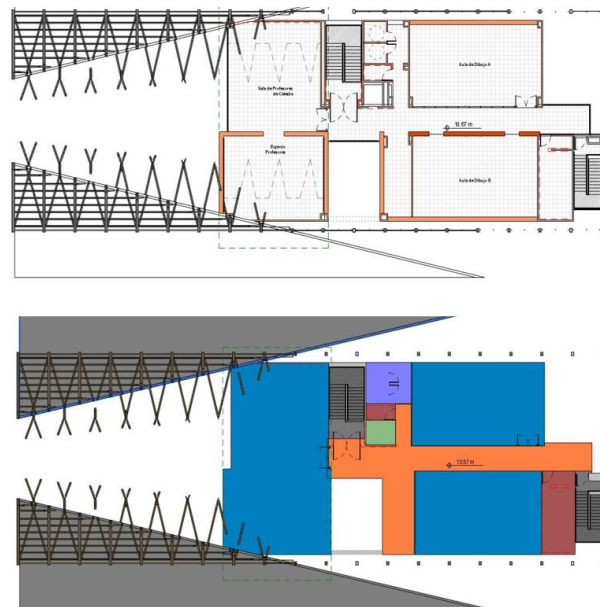


Figura 17. Distribución de los espacios del quinto piso (N5) según arquitectura y uso de zona.


3.2 Detección de interferencias con Navisworks

Navisworks, permite realizar la revisión de las interferencias entre los modelos Revit de manera más eficiente pues cuenta con una herramienta llamada Clash Detective que brinda la oportunidad de seleccionar una de cuatro configuraciones posibles para la detección de interferencias:

- Estático: el análisis detecta las interferencias reales entre los elementos
- Estático conservador: realiza el mismo análisis que el método estático, pero tiene en cuenta los pares de elementos que posiblemente resulten conflictivos, lo cual podría generar falsos positivos en los resultados, es mucho más exhaustivo y seguro que el método estático.
- Espacio libre: el análisis realiza la comprobación del espaciamiento entre elementos para cerciorarse que se cumplan con los mínimos establecidos donde se requiera.
- Duplicados: el análisis detecta la geometría duplicada, de esa manera puede asegurarse que no se ha modelado una misma parte dos veces, lo cual de ser así afectaría las cantidades (Autodesk, s.f.).

La ventaja de utilizar Navisworks para la revisión de los modelos BIM es que brinda la opción de generar el informe de las interferencias incluyendo las imágenes y presentarlo en diferentes formatos de tabla que contienen la información referente a los elementos que se chocan (ver Figuras 18 y 19). Para la resolución de las interferencias se sigue empleando Revit en donde son corregidas y los cambios realizados se actualizan automáticamente en Navisworks.

El uso de este software permite entonces la disminución del tiempo de procesado de la información.



Nombre	Conflicto13
Distancia	-0.100m
Descripción	Estático
Estado	Nuevo
Punto de conflicto	18.600m, 29.462m, 1321.220m
Ubicación de rejilla	D2-DD : EF_Piso 1_NF
Fecha de creación	2018/3/12 0:38:59

Elemento 1

ID de elemento	22049459
Capa	ED_Piso 3_NF
Elemento Nombre	Muro básico
Elemento Tipo	Muros: Muro básico: TAB_Mampostería Bloque No 4
+ Pañete _0.10m	

Elemento 2

ID de elemento	18170379
Capa	Piso 3
Elemento Nombre	150+ 50 mm Thickness
Elemento Tipo	Descansillos: Descansillo monolítico: 150+ 50 mm
Thickness	

Figura 18. Ejemplo visualización 1 informe de interferencias Navisworks.






Image	Clash Name	Status	Distance	Grid Location	Description	Date Found	Clash Point	Item 1				Item 2			
								Item ID	Layer	Item Name	Item Type	Item ID	Layer	Item Name	Item Type
	Clash1	New	-0.100	DH'-D2 : ED_Piso 2_HLE	Hard	2018/3/12 01:39.34	x:22.497, y:30.921, z:1319.080	ID de elemento: 21177596	ED_Piso 3_NE	Muro básico	Muros: Muro básico: TAB_Muro en BTC o Tapia Pisada	ID de elemento: 17826919	Piso 3	A-Concreto estructura	Sólido
	Clash2	New	-0.100	DH'-D2 : ED_Piso 2_HLE	Hard	2018/3/12 01:39.34	x:22.476, y:30.924, z:1319.080	ID de elemento: 21177596	ED_Piso 3_NE	Muro básico	Muros: Muro básico: TAB_Muro en BTC o Tapia Pisada	ID de elemento: 18236693	Piso 3	Suelo	Suelos: Suelo: Losa concreto e=0.10
	Clash3	New	-0.093	D4-DA : ED_Piso 2_HLE	Hard	2018/3/12 01:39.34	x:-11.470, y:17.855, z:1319.175	ID de elemento: 19297883	ED_Piso 3_NE	Muro básico	Muros: Muro básico: TAB_Tapia Pisada	ID de elemento: 18236693	Piso 3	Suelo	Suelos: Suelo: Losa concreto e=0.10
	Clash4	New	-0.015	D4-DA : ED_Piso 2_HLE	Hard	2018/3/12 01:39.34	x:-11.470, y:17.855, z:1319.080	ID de elemento: 19297883	ED_Piso 3_NE	Muro básico	Muros: Muro básico: TAB_Tapia Pisada	ID de elemento: 17826923	Piso 3	A-Concreto estructura	Sólido
	Clash5	New	-0.015	D3-DF : ED_Piso 3_NE	Hard	2018/3/12 01:39.34	x:29.321, y:22.549, z:1319.180	ID de elemento: 19631220	ED_Piso 3_NE	Muro básico	Composite Part	ID de elemento: 18232609	Piso 3	Concrete - Cast-in-Place Concrete	Sólido

Figura 19. Ejemplo de visualización 2 informe de interferencias Navisworks.

3.3 Estimación del ahorro de revisión en BIM

Para la estimación del ahorro de la revisión en BIM y resolución de las interferencias se consideró lo siguiente:

- Se contrata a una empresa consultora que cuenta con un grupo de diseñadores para la modelación en REVIT de los planos en 2D y además tienen las capacidades ingenieriles de solucionar las posibles interferencias que se puedan presentar.
- Hay un profesional para cada disciplina.
- En el ambiente de trabajo, todos los diseñadores trabajan en una misma oficina, excelente comunicación entre ellos, solo están trabajando en el proyecto en cuestión y cuentan con las herramientas necesarias para dar solución a los problemas que puedan encontrar.

Se realizó un análisis de los posibles factores por los cuales el grupo de diseño puede cobrar, entre ellos se encontraron:

- El sueldo de cada profesional ajustado para cumplir prestaciones sociales, seguridad social y aportes parafiscales. El valor base se tomó de las estimaciones de la revista Dinero, en la sección finanzas personales, para profesionales recién graduados. (Ver Tabla 2).
- Equipos: Los computadores y las licencias de AutoCAD y Revit.
- Materiales: incluye el ploteado de planos y la papelería utilizada.
- El valor de arriendo de la oficina y sus servicios se estima como un valor global.

Tabla 2.
Sueldo de cada profesional.

PROFESIONAL	ASIGNACION SALARIAL	SMMLV	MES CON AJUSTE SALARIAL	DIA CON AJUSTE SALARIAL
Ingeniero Hidrosanitario	\$ 2,330,237	2.98	\$4,639,509	\$154,650.31
Ingeniero estructural	\$ 3,407,389	4.36	\$6,776,339	\$225,877.98
Ingeniero mecánico	\$ 3,205,884	4.10	\$6,373,748	\$212,458.27
Arquitecto	\$ 1,538,880	1.97	\$3,210,365	\$107,012.18
Ingeniero electricista	\$ 2,945,282	3.77	\$5,862,767	\$195,425.57
Supervisor	\$ 2,330,237	2.98	\$4,639,509	\$154,650.31
Gerente de proyecto	\$ 4,346,479	5.56	\$8,634,452	\$287,815.08

El valor asignado para papelería es un porcentaje de la mano de obra (2%). El rendimiento de la mano de obra asignado a cada profesional es el tiempo estimado en que tardaría en resolver una interferencia si se trabaja bajo las consideraciones anteriormente mencionadas, los valores asignados son una aproximación, en días, realizada de la mano del grupo de investigación Geomática del tiempo en que se tarda resolver un conflicto de mediana dificultad (ver Tabla 3), por ejemplo, en el primer renglón de la tabla se mencionan las disciplinas evaluadas, arquitectura vs estructura, se estima que en conjunto se demoran 1.5 días en dar solución a una interferencia.

Tabla 3.
Tiempos estimados para resolver una interferencia.

DISCIPLINAS CON INTERFERENCIAS	TIEMPO DE RESOLUCIÓN (DIAS)
ARQ vs EST	1.5
ARQ vs RHS/RCI	1
ARQ vs AA	1
EST vs RHS/RCI	1
EST vs AA	1.5
EST vs ELEC	0.5
RHS/RCI vs AA	1
RHS/RCI vs ELEC	0.5
RHS/RCI vs RHS/RCI	0.5
AA vs ELEC	0.5

En la figura 20 se muestra un ejemplo para la estimación del costo de resolución de una interferencia entre arquitectura y estructura, para este caso el tiempo estimado para el ingeniero estructural es de día y medio, el arquitecto de medio día y el supervisor estará presente 2,4 horas de su jornada laboral. Sumando los diferentes factores, el resultado obtenido es de \$568.871. El mismo procedimiento se realizó para estimar el costo de colisiones entre las demás diferentes disciplinas.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ITEM	DESCRIPCIÓN					UNIDAD
	CORRECIÓN INTERFERENCIA ARQUITECTURA VS ESTRUCTURA					UN
I MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	CONSUMO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	
Ploteado de planos		un	2.00	\$ 5,000	\$ 10,000	
Papelería		Glb	1.000	\$ 8,774	\$ 8,774	
Subtotal:					\$ 18,774	
II EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	RENDMTO	TARIFA	VALOR PARCIAL	
Computador		día/un	3	\$ 13,889	\$ 41,667	
Licencia de Revit		día	3	\$ 11,487	\$ 34,461	
Licencia AutoCAD		día	3	\$ 11,750	\$ 35,250	
Subtotal:					\$ 111,378	
III MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	RENDMTO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	
Ingeniero estructural		día	1.5	\$ 225,878	\$ 338,817	
Arquitecto		día	0.500	\$ 107,012	\$ 53,506	
Supervisor de diseños		día	0.300	\$ 154,650	\$ 46,395	
Subtotal:					\$ 438,718	
COSTO UNITARIO:					\$ 568,871	

Figura 20. Análisis de precios unitarios para corrección interferencia ARQ vs EST.

3.4 Estimación de costos en obra

Con un procedimiento similar al anterior, se realizó una estimación para el costo que representa hallar interferencias en obra, es decir, los costos asociados a no poder seguir desempeñando cierta actividad debido a conflictos entre los sistemas. Partiendo de la premisa de que no se

realizó revisión previa en BIM antes del comienzo de la construcción. Se utilizaron los siguientes ítems:

- Materiales: se encuentran los oficios que se deben enviar cuando se encuentra una interferencia, para estimar el valor se colocó un porcentaje de 2% sobre la mano de obra.
- Equipos: Se tiene en cuenta los computadores, las licencias de AutoCAD y la maquinaria y herramientas que se dejan de utilizar mientras se resuelve el conflicto.
- Mano de obra: se tienen en cuenta los tiempos de detección del conflicto por parte de los oficiales, la notificación al ingeniero residente y al de interventoría.

Se considera que el sueldo del ingeniero residente y del ingeniero interventor son similares al del supervisor de diseños. El valor del sueldo del oficial es del 1.7 SMMLV y el del ayudante de 1 SMMLV. Los valores presentes en el APU, están ajustados para cumplir con los requerimientos de la ley (ver Figura 21).

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ITEM	DESCRIPCIÓN					UNIDAD
	DETECCIÓN INTERFERENCIA ARQUITECTURA VS ESTRUCTURA					UN
I MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	CONSUMO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	
Papelera		Glb	1.000	\$ 6,948	\$ 6,948	
Subtotal:					\$ 6,948	
II EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	RENDMTO	TARIFA	VALOR PARCIAL	
Computador		día/un	2	\$ 13,889	\$ 27,778	
Licencia AutoCAD		día	2	\$ 11,750	\$ 23,500	
Formaletas y andamios		Glb/día	1.000	\$ 500,000	\$ 500,000	
Torre grua		Glb/día	1.000	\$ 10,000	\$ 10,000	
Volquetas		Glb/día	1.000	\$ 150,000	\$ 150,000	
Retroexcavadora		Glb/día	1.000	\$ 150,000	\$ 150,000	
Alquiler de herramientas (caja herramientas)		día	0.500	\$ 6,948	\$ 3,473.97	
Subtotal:					\$ 864,752	
III MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	ALCANCE	UNIDAD	RENDMTO	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	
Ingeniero residente		día	1	\$ 154,650	\$ 154,650	
Ingeniero interventoria		día	1	\$ 154,650	\$ 154,650	
Oficial		día	0.500	\$ 47,211	\$ 23,606	
Ayudante		día	0.500	\$ 28,982	\$ 14,491	
Subtotal:					\$ 347,397	
COSTO UNITARIO:					\$ 1,219,097	

Figura 21. Análisis de precios unitarios de detección en obra de interferencia ARQ vs EST.

4. Resultados

4.1 Interferencias detectadas con Revit

El total de interferencias presentes en el edificio D de la sede socorro es de 257. En la figura 22 se muestra el porcentaje de cada tipo de interferencias.

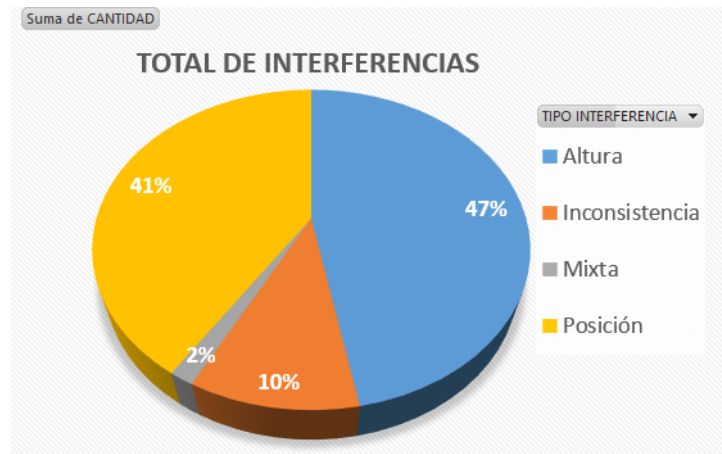


Figura 22. Total interferencias.

Se observa que la interferencia que más se presenta es la de tipo altura con el 47% del total (121 interferencias), le sigue es la interferencia tipo posición con un 41% (105 interferencias), mientras que las interferencias de tipos inconsistencia y mixta representan en conjunto el 12% restante (27 interferencias de tipo inconsistencia y 4 de tipo mixta).

En la Figura 23 se desglosan las disciplinas en las que se presentan interferencias del tipo inconsistencia, además, se relacionan los niveles en los que se encuentran. La mayor incidencia se encuentra en la arquitectura con el 52% (14 inconsistencias) en todos los niveles, por su parte, la estructura tiene el 19%, equivalente a 5 interferencias tipo inconsistencia, que se presentan en todos los niveles. El resto de conflictos se acreditan a las redes hidrosanitarias, 29% de inconsistencias.

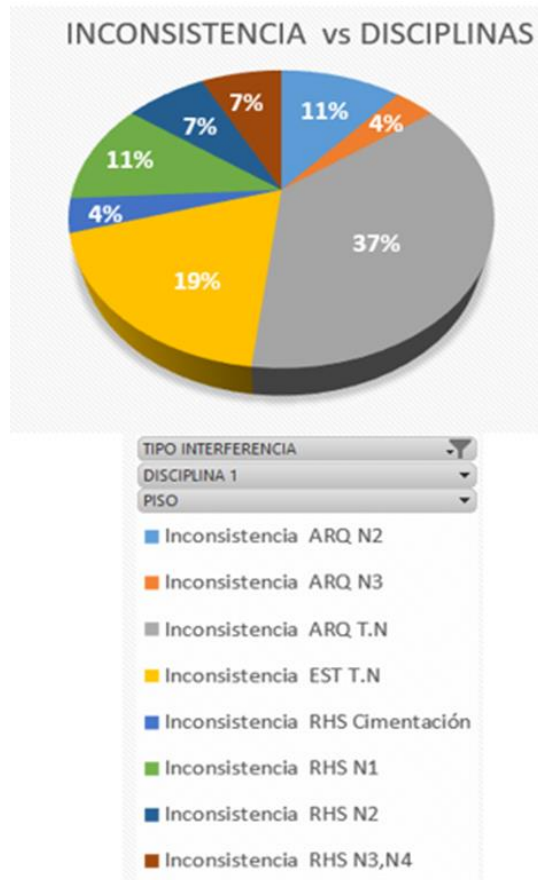
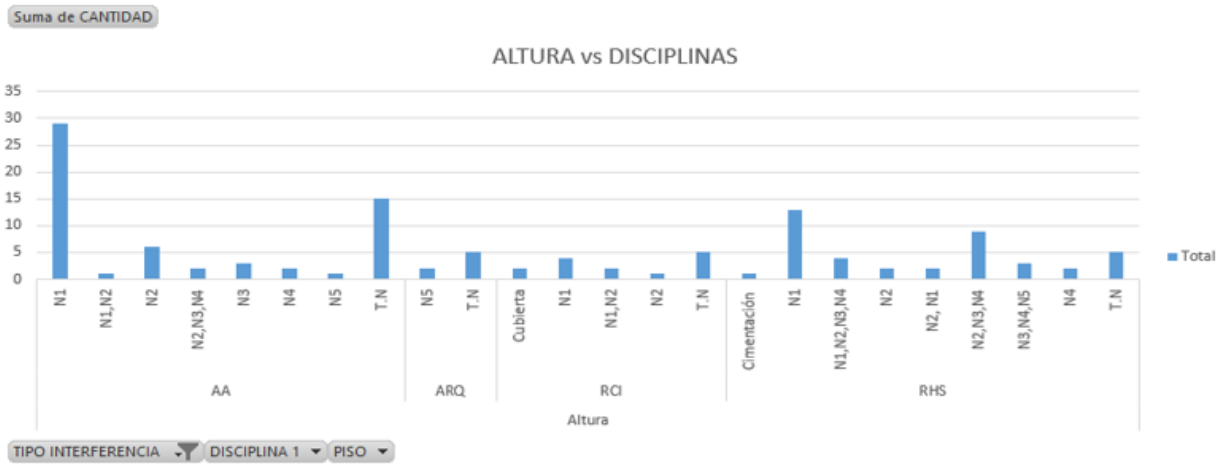


Figura 23. Disciplinas en las que se hallan interferencias tipo inconsistencia.

La figura 24 (a) muestra las disciplinas en las que se encuentra la interferencia tipo altura. En el sistema de aire acondicionado (AA) se presentan la mayor parte de conflictos, con un total de 59 colisiones, 29 de ellas presentes en el primer nivel, se observa que se presentan 15 colisiones iguales en todos los niveles. Por su parte, las redes hidrosanitarias (RHS) muestran mayor cantidad de conflictos en el primer nivel con un total de 13 interferencias. En la parte (b) de la figura 24 se detallan las disciplinas en las que se presentan la interferencia tipo posición, se aprecia que la disciplina RHS presenta 75 colisiones, 17 de ellas en el primer nivel y 10 del mismo tipo en todos los niveles. La segunda disciplina que tiene más interferencias es la de AA

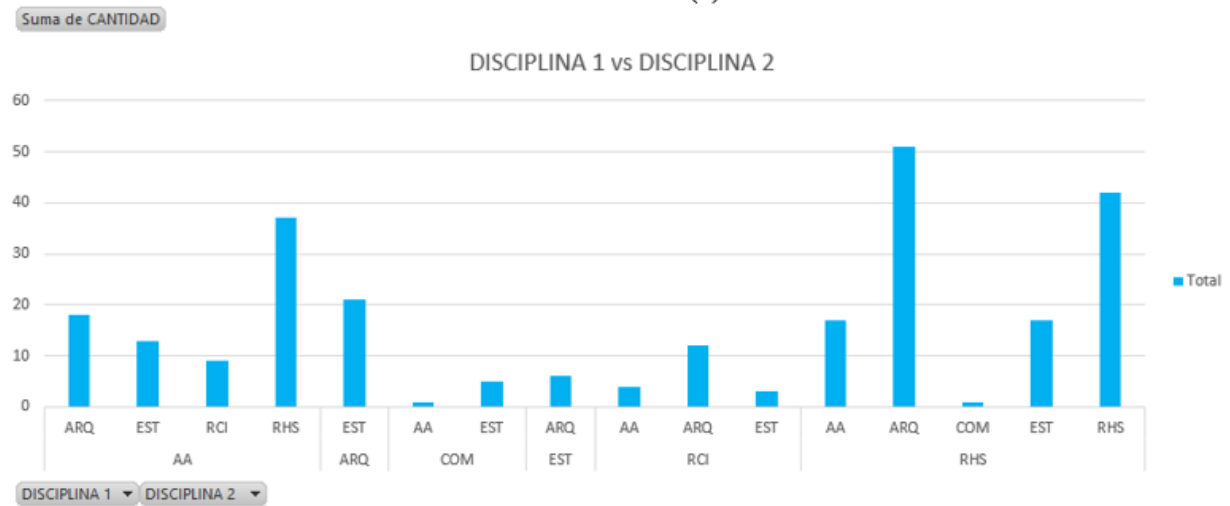
con 18 colisiones; 5 pertenecientes al primer nivel y 5 que se presentan en todos los niveles. La parte (c) de la Figura 24 muestra las interferencias cotejadas entre las disciplinas. El mayor conflicto se encuentra entre RHS vs ARQ, con 51 interferencias entre ellas, le sigue RHS vs RHS, con 42 conflictos entre si y en tercer lugar se encuentra AA vs RHS con 37 interferencias.



(a)



(b)



(c)

Figura 24. Gráficas de interferencias (a) interferencias tipo Altura vs Disciplinas (b) interferencias tipo Posición vs Disciplinas (c) general entre disciplinas.

4.2 Estimación del ahorro por concepto de la detección temprana de interferencias en el caso de estudio.

En la Tabla 4, se muestra el valor total obtenido tras realizar el análisis de precios unitarios para la detección y resolución de las 257 interferencias por parte de la empresa consultora, en la Tabla 5, se muestra el valor estimado que representaría en obra la no detección de dichas incompatibilidades.

Tabla 4.
Costo general arreglo de interferencias

PRESUPUESTO GENERAL ARREGLO INTERFERENCIAS						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Tiempo R	VLR UNIT.	CANTIDAD	VLR TOTAL
ARQ vs EST	Corrección interferencia entre arquitectura y estructura	un	1.5	\$ 568,871	27	\$15,359,508
ARQ vs RHS/RCI	Corrección interferencia entre arquitectura y redes hidrosanitarias/contra incendio	un	1	\$ 429,597	63	\$27,064,603
ARQ vs AA	Corrección interferencia entre arquitectura y aire acondicionado	un	1	\$ 488,561	18	\$8,794,098
EST vs RHS/RCI	Corrección interferencia entre estructura y redes hidrosanitarias/contra incendio	un	1	\$ 659,097	20	\$13,181,943
EST vs AA	Corrección interferencia entre estructura y aire acondicionado	un	1.5	\$ 786,033	13	\$10,218,424
EST vs ELEC	Corrección interferencia entre estructura y redes electricas	un	0.5	\$ 377,566	5	\$1,887,830
RHS/RCI vs AA	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contra incendio y aire acondicionado	un	1	\$ 537,152	67	\$35,989,177
RHS/RCI vs ELEC	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contra incendio y redes electricas	un	0.5	\$ 341,240	1	\$341,240
RHS/RCI vs RHS/RCI	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contraincendio	un	0.5	\$ 143,659	42	\$6,033,687
AA vs ELEC	Corrección interferencia entre aire acondicionado y redes electricas	un	0.5	\$ 659,097	1	\$659,097
ALQUILER OFICINA	Oficina donde trabajan los ingenieros	un	1	\$ 112,333	100	\$11,233,333
TOTAL						\$130,762,939

Tabla 5.
Costo general detección de interferencias en obra.

PRESUPUESTO GENERAL DETECCIÓN DE INTERFERENCIAS EN OBRA						
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	Tiempo R	VLR UNIT.	CANTIDAD	VLR TOTAL
ARQ vs EST	Corrección interferencia entre arquitectura y estructura	un	1	\$ 1,219,097	27	\$32,915,623
ARQ vs RHS/RCI	Corrección interferencia entre arquitectura y redes hidrosanitarias/contra incendio	un	1	\$ 659,097	63	\$41,523,119
ARQ vs AA	Corrección interferencia entre arquitectura y aire acondicionado	un	1	\$ 659,097	18	\$11,863,748
EST vs RHS/RCI	Corrección interferencia entre estructura y redes hidrosanitarias/contra incendio	un	1	\$ 659,097	20	\$13,181,943
EST vs AA	Corrección interferencia entre estructura y aire acondicionado	un	1	\$ 659,097	13	\$8,568,263
EST vs ELEC	Corrección interferencia entre estructura y redes electricas	un	1	\$ 659,097	5	\$3,295,486
RHS/RCI vs AA	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contra incendio y aire acondicionado	un	1	\$ 659,097	67	\$44,159,508
RHS/RCI vs ELEC	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contra incendio y redes electricas	un	1	\$ 659,097	1	\$659,097
RHS/RCI vs RHS/RCI	Corrección interferencia redes hidrosanitarias/contraincendio	un	1	\$ 659,097	42	\$27,682,079
AA vs ELEC	Corrección interferencia entre aire acondicionado y redes electricas	un	1	\$ 659,097	1	\$659,097
TOTAL						\$184,507,962

5. Discusión

5.1 Interpretación de las gráficas

El mayor porcentaje de interferencias halladas en los modelos son del tipo altura, esto puede ser por falta de comunicación y consenso entre los especialistas. El sistema de redes que más problemas presenta es el de redes sanitarias, esto debido a que su funcionamiento requiere de pendientes en las tuberías, también es uno de los sistemas, que, en caso de tener interferencias graves, presentaría problemas de solución y se tendría que pensar incluso en rediseño completo por la dificultad de utilizar curvas verticales. En este punto, se observa la ventaja de utilizar las herramientas de modelamiento 3D, pues a los diseñadores les permite tener una visualización de los problemas de manera acertada.

Las interferencias halladas en los modelos arquitectónicos y estructurales pueden ser consecuencia de la incompatibilidad de los planos, cuando los espacios son simétricos se suelen utilizar plantillas tipo para la elaboración de todos los pisos y puede olvidarse colocar alguna característica específica a un nivel determinado en el momento de la digitación del plano. La incompatibilidad de los planos entre todos los sistemas diseñados son la causa principal de las interferencias de tipo posición.

En cuanto a las interferencias del tipo inconsistencia halladas en los modelos, se encuentra que para la red sanitaria no se emplearon los accesorios (uniones) adecuadas en las conexiones de las ramificaciones de la red a la tubería madre, se incumplen las normas de diseño, por ejemplo, toda tubería que llega al tubo madre debe hacerlo en un ángulo de 45° y se encontraron conexiones modeladas a 90° .

Gracias a la implementación de BIM es posible detectar y ajustar las interferencias de manera temprana, en el presente caso de estudio, es importante resaltar que se realizó la revisión de estos conflictos por parte de los profesionales del grupo de investigación Geomática y diseñadores del proyecto de manera que todos los diseños han sido mejorados y actualizados a la fecha. Cuando se inició este proyecto, la información disponible y la cual se analizó, fue la recopilada entre el cinco de junio de 2017 al siete de septiembre de 2017.

5.2 Uso de la herramienta VSM de la filosofía Lean Construction para el mejoramiento del proceso de ajustes de interferencias

En base a sus principios se realizó el análisis del flujo de información en la fase de diseño de un proyecto de construcción realizado de la manera tradicional. Se identificó un proceso repetitivo que puede ser mejorado.

La lectura del mapa de la Figura 25 dice lo siguiente: el cliente tiene una necesidad por suplir con la construcción de una edificación, dicho edificio debe cumplir con ciertos requisitos los cuales son entregados al diseñador escogido por el cliente, en primera instancia, un arquitecto. El arquitecto, de acuerdo a los requerimientos dados, elabora el anteproyecto. El cliente cuenta con un profesional encargado de supervisar el cumplimiento de las solicitudes realizadas, el supervisor. Una vez listo el anteproyecto, se puede empezar a trabajar en el diseño de las demás disciplinas, estructura, redes hidrosanitarias, redes eléctricas, aire acondicionado, red contra incendios y cualquier otro sistema adicional que el edificio requiera para su funcionamiento.

Toda comunicación entre los profesionales de las diferentes disciplinas debe hacerse teniendo de por medio al supervisor, de manera que éste esté siempre al tanto de los cambios que se vayan presentando y pueda notificar a los demás especialistas. Cada vez que se presenta un cambio en el diseño de algunas de las disciplinas se debe cotejar con las demás y las notificaciones se hacen mediante el supervisor, quien debe llevar el inventario de toda la información. Este proceso se repite n cantidad de veces hasta lograr el ajuste de los diseños, si no es realizado con cuidado, o hay falencias en la comunicación entre los participantes, se pueden generar atrasos en las actualizaciones de las versiones.

Cuando los diseños están lo suficientemente completos se comienza el proceso de licitación y una vez aprobada se da inicio a la construcción. En obra, se pueden presentar inconvenientes que dependiendo de su grado de dificultad o incidencia en los sistemas pueden ser solucionados inmediatamente o deben ser evaluados por los especialistas para su solución, esto de nuevo se hace por medio del supervisor, quien se comunica con los encargados del área o las áreas donde se presentan los problemas.

En la Figura 26 se muestra una posible optimización de este proceso, se plantea el trabajo colaborativo en tiempo real entre los especialistas con el uso de herramientas BIM, en donde se puedan observar las modificaciones que se vayan realizando y en conjunto tomar decisiones y plantear o ejecutar mejoras de los diseños a medida que se observan representativamente en el 3D. El supervisor seguiría vigilando el cumplimiento de los requisitos y siendo el encargado de administrar los roles en el trabajo colaborativo, de manera que el arquitecto solo trabaje en la arquitectura, el estructural en la estructura y cada uno de los especialistas en su disciplina. Si esto se logra se pueden prevenir y prever inconvenientes antes de empezar la construcción del proyecto.

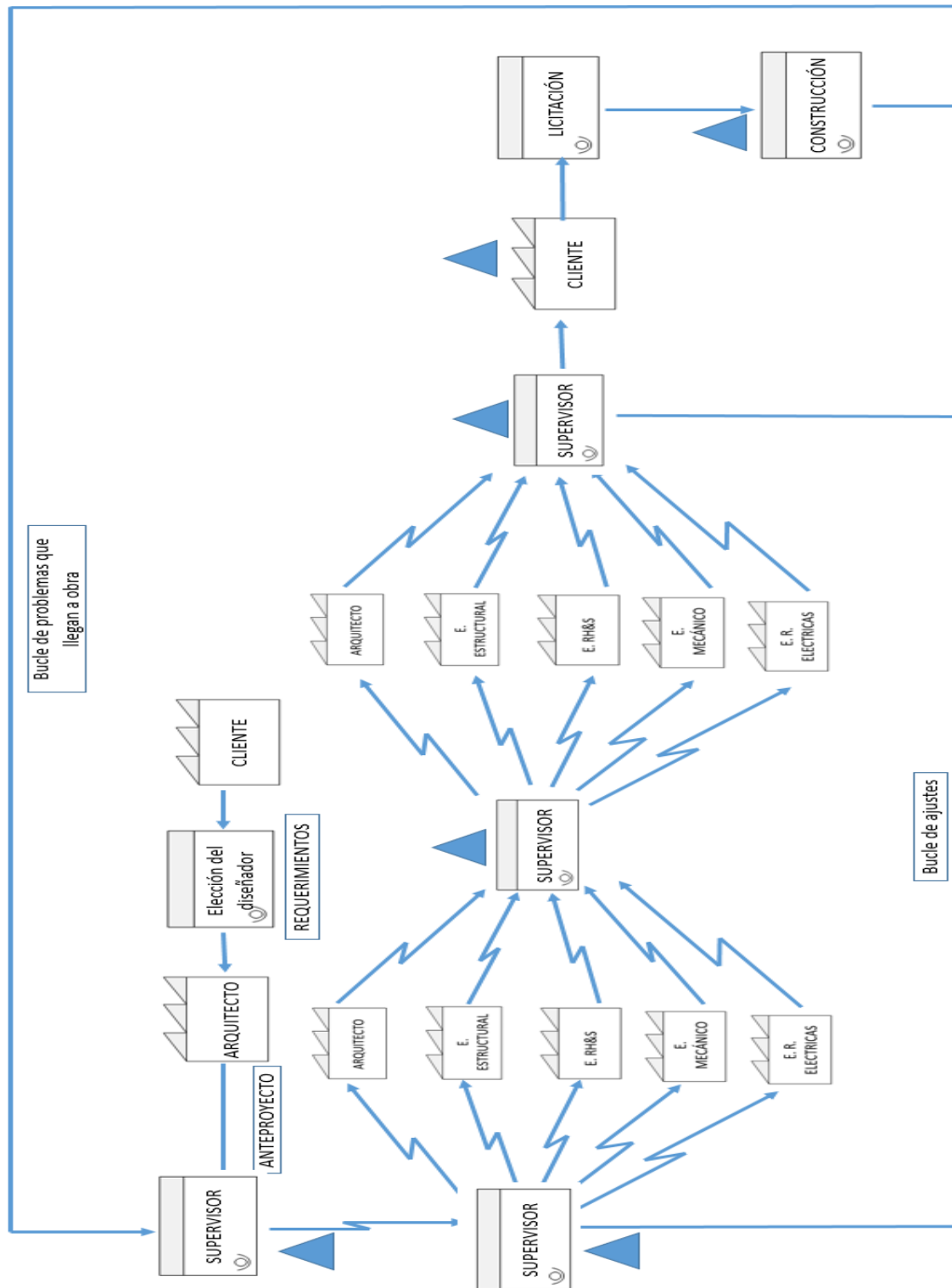


Figura 25. Mapa de flujo de valor del flujo de información en la fase de diseño de un proyecto de construcción realizado de la manera tradicional.

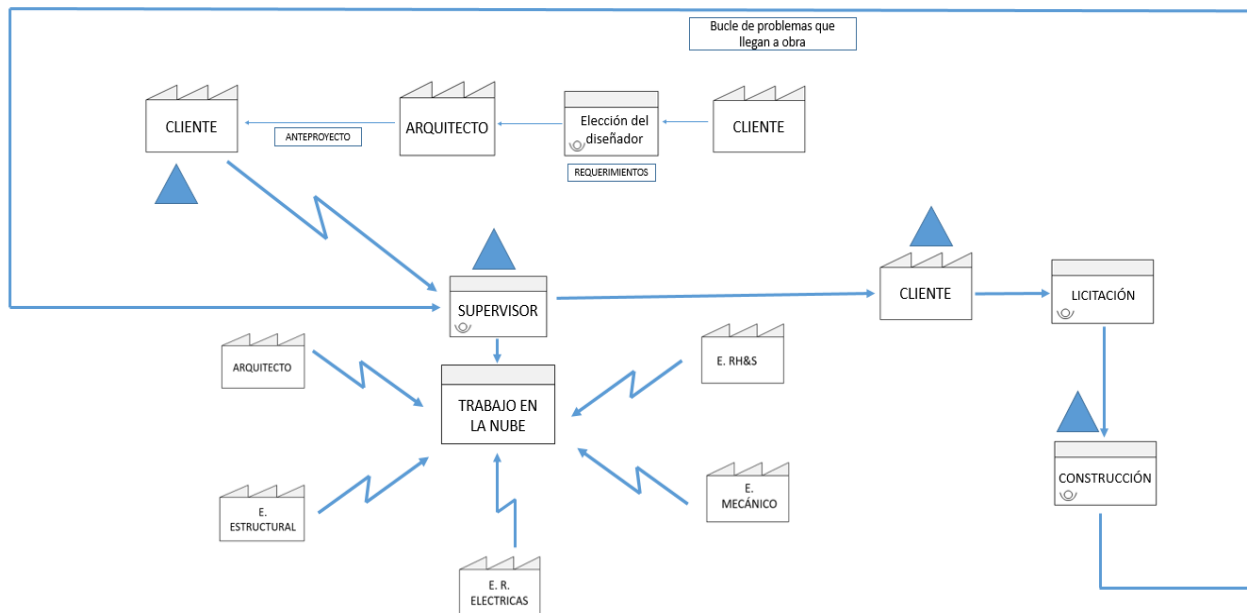


Figura 26. Mapa de flujo de valor del flujo de información en la fase de diseño de un proyecto de construcción optimizado.

5.3 Análisis de los costos

Siguiendo con el caso de estudio, el costo de lo estimado para la revisión y corrección de las interferencias por parte de la empresa consultora es de \$ 130.762.939 como se resume en la Tabla 6, por su parte, la estimación realizada para el costo que representarían las interferencias halladas en obra, si no se hubieran detectado con ayuda de las herramientas BIM, da un valor total de \$ 184.507.962, ver Tabla 7, la suma de estos dos valores da \$ 315.270.901 el cual representa el ahorro que se consigue, en este caso en particular, al aplicar la integración de las herramientas BIM con la filosofía LC.

Tabla 6.

Resumen costos de solucionar las interferencias.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VLR TOTAL
ARQ vs EST	un	27	\$15,359,508
ARQ vs RHS/RCI	un	63	\$27,064,603
ARQ vs AA	un	18	\$8,794,098
EST vs RHS/RCI	un	20	\$13,181,943
EST vs AA	un	13	\$10,218,424
EST vs ELEC	un	5	\$1,887,830
RHS/RCI vs AA	un	67	\$35,989,177
RHS/RCI vs ELEC	un	1	\$341,240
RHS/RCI vs RHS/RCI	un	42	\$6,033,687
AA vs ELEC	un	1	\$659,097
ALQUILER OFICINA	un	100	\$11,233,333
TOTAL			\$130,762,939

Tabla 7.

Resumen costos que representan las interferencias en obra

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VLR TOTAL
ARQ vs EST	un	27	\$32,915,623
ARQ vs RHS/RCI	un	63	\$41,523,119
ARQ vs AA	un	18	\$11,863,748
EST vs RHS/RCI	un	20	\$13,181,943
EST vs AA	un	13	\$8,568,263
EST vs ELEC	un	5	\$3,295,486
RHS/RCI vs AA	un	67	\$44,159,508
RHS/RCI vs ELEC	un	1	\$659,097
RHS/RCI vs RHS/RCI	un	42	\$27,682,079
AA vs ELEC	un	1	\$659,097
TOTAL			\$184,507,962

La curva de MacLeamy, o curva de esfuerzo del proceso constructivo, muestra que las decisiones tomadas en etapas tempranas de diseño pueden ser hechas a menor costo y con mayor beneficio (ver Figura 27). La línea 1 representa la habilidad que se tiene de afectar el costo y rendimiento del proyecto, la línea 2 es el costo que va adquiriendo generar esos cambios a través de las diferentes fases que se presentan en el desarrollo de un proyecto constructivo, la línea 3 muestra como suele ser el flujo de trabajo tradicionalmente en esta industria, finalmente, la línea 4 muestra como cambiaría el flujo de trabajo al implementar BIM en un proyecto de

construcción, mostrando entonces, que las inversiones adicionales en etapas tempranas de diseño pueden representar un ahorro al final del proyecto, no solo por permitir detectar las falencias en los diseños, por la facilidad de verlos en 3D, sino por las otras ventajas que tienen este tipo de herramientas en la cubicación de cantidades, entre otras (Benedict & David, 2012).

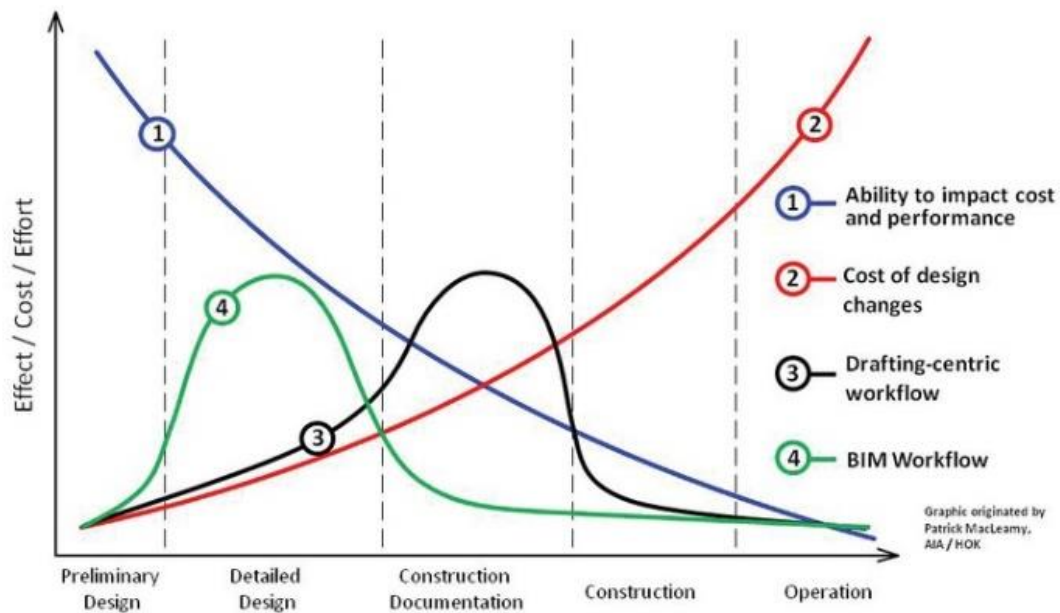


Figura 27. Curva de MacLeamy. Recuperado de: <https://ingenieriaparadisfrutar.wordpress.com/2015/06/09/la-curva-de-macleamy-cuando-cuesta-menos-construir/>

6. Conclusiones

El método utilizado, en este caso de estudio, fue la búsqueda de actividades innecesarias dentro de un proceso, a través del mapa de flujo de valor, para así identificar las falencias presentes en el intercambio de información entre los diseñadores de las diferentes disciplinas que intervienen

en un proyecto, sugiriendo la implementación de las herramientas BIM desde la etapa de diseño ya que facilita el manejo de toda la información al poder compilar todos los modelos en un solo entorno, permitiéndole a los profesionales la evaluación del comportamiento conjunto de los sistemas, además, tiene la ventaja de que, si generan planos desde este tipo de programas, las modificaciones que se realicen en el modelo se actualizan automáticamente en las diferentes vistas de los planos, minimizando el riesgo de error humano en la digitación.

La filosofía Lean Construction aplicada a la gestión de proyectos busca reducir las actividades innecesarias presentes en los procesos, combinada con las herramientas BIM desde etapas tempranas de diseño permite la integración interdisciplinaria al promover la comunicación continua entre los diseñadores de cada especialidad.

La integración de BIM y Lean Construction desde etapas tempranas de diseño de proyectos constructivos permite detectar y ajustar colisiones que podrían presentarse en la fase de construcción del proyecto generando un ahorro en la inversión total final, pues lo que se busca es aumentar la calidad de las instalaciones de los diferentes elementos que componen la edificación, al planear y definir sus montajes de manera que no interfieran entre sí, ni afecten la operabilidad de los demás y no se deban adoptar medidas ineficaces en campo para resolver los problemas.

Este método puede ser una posible guía para futuras investigaciones acerca de la integración de la filosofía Lean con las herramientas BIM, sin embargo, hay que tener en cuenta que cada proyecto constructivo es único y particular.

Referencias Bibliográficas

- Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de Obras Públicas*(3.496), 45-52. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28249238_Un_nuevo_enfoque_en_la_gestion_la_construccion_s_in_perdidas
- Alzate, M. F. (2017). *Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de los proyectos de construcción en la ciudad de Manizales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Autodesk. (8 de Mayo de 2017). *Knowledge autodesk*. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ESP/Navisworks-Manage/files/GUID-B13377D4-8AFA-4E95-8435-C6DC4DF26AF4-htm.html>
- Benedict, I., & David, K. (2012). Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 23-36.
- Bertelsen, S. (2004). Lean Construction: Where are we and how to proceed? *Lean Construction Journal*, 1(1), 46-69. Obtenido de https://www.leanconstruction.org/media/docs/ktll-add-read/Lean_Construction_Where_Are_We_And_How_To_Proceed.pdf
- Guzmán, F. P. (2014). *Beneficios de la coordinacion de proyectos BIM en edificios habitacionales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Hamed Issa, U. (2013). Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 697-704. Obtenido de https://ac.els-cdn.com/S1110016813000641/1-s2.0-S1110016813000641-main.pdf?_tid=f12aa6cf-4d9b-4475-97e1-54ef10b95f47&acdnat=1528207754_105fea7dbf6e3066ae71afddccd21443
- Howell, G. A. (July de 1999). What is Lean Construction-1999. (U. o. California, Ed.) *Proceedings IGLC-7*. Obtenido de <https://www.leanconstruction.org/media/docs/Howell.pdf>
- Johann, D. (2017). El mapa del flujo de valor: los secretos de la herramienta clave del Lean Manufacturing. *en50MINUTOS.es*. Obtenido de

[https://books.google.com.co/books?id=dXUkDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_s
ummary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=dXUkDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_s
ummary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Center for integrated facility engineering CIFE. Stanford University. Obtenido de <https://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf>

Lu, W., Liang, C., Fung, A., & Rowilson, S. (2014). Demystifying the time-effort distribution curves ins construction projects: a BIM and non-BIM comparison. *Construction Research Congress*, 329-338. Obtenido de <http://sipb.sggw.pl/CRC2014/data/papers/9780784413517.034.pdf>

Porras, H., Sánchez, O., & Galvis, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 32-53.

Porras, H., Sánchez, O., Galvis, J., & Castañeda, K. (Enero-Junio de 2015). Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Entramado*, 11(1), 230-249. doi:<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (September de 2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968-980. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203

Walasek, D., & Barszcz, A. (2017). Analysis if the adoption rate of building information modeling (BIM) and its return on investment (ROI). *ELSEVIER*, 1227-1234. doi:10.1016/j.proeng.2017.02.144