

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA S.A.S.
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO PILOTO CON TECNOLOGÍA
BUILDING INFORMATION MODELING PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.

NÉSTOR ALBEIRO JAIMEZ PLATA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA S.A.S.
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO PILOTO CON TECNOLOGÍA
BUILDING INFORMATION MODELING PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.

NÉSTOR ALBEIRO JAIMEZ PLATA

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
INGENIERO CIVIL

Director
HERNÁN PORRAS DÍAZ
Ingeniero Civil, Ph.D.

Tutor
HERMANN DAVID PATIÑO GALINDO
Ingeniero Civil, M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	12
1. PRELIMINARES	13
1.1. SOBRE INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA SAS	13
1.2. SOBRE LAS TECNOLOGÍAS BUILDING INFORMATION MODELING.	13
1.3. PLAN DE EJECUCIÓN BIM	14
2. ETAPA DE DISEÑO PRELIMINAR	19
2.1. LEVAMIENTO DE ESTRUCTURA EXISTENTE	19
2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	21
2.3. PROPUESTA DE REFORZAMIENTO	24
2.4. PROPUESTA ECONÓMICA – PRESUPUESTO	29
2.5. PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE REFORZAMIENTO A INVERSIONISTAS	31

3.	ETAPA DE DISEÑO DETALLADO	35
3.1.	EJECUCIÓN DE MODIFICACIONES SUGERIDAS POR INVERSIONISTAS	35
3.2.	OBTENCIÓN DE PLANOS DEL REFORZAMIENTO PROPUESTO	35
3.3.	DESARROLLO DEL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	36
3.4.	INTERVENCIÓN ARQUITECTÓNICA	37
4.	CONTROL DEL PROYECTO	41
5.	RESULTADOS	45
5.1.	COMPARACIÓN DE COSTOS Y TIEMPO DE CONSULTORÍA.	45
5.2.	COMPARACIÓN DE COSTOS Y TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.	46
5.3.	SECUELA DEL PROYECTO PILOTO	48
6.	CONCLUSIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Flujo de trabajo convencional en ITEC	15
Ilustración 2. Flujo de trabajo BIM propuesto	16
Ilustración 3. Registro fotográfico proceso de sensibilización	17
Ilustración 4. Registro fotográfico proceso de sensibilización	18
Ilustración 5. Apique para determinar características de la estructura	19
Ilustración 6. Toma de medidas para determinar características de la estructura	20
Ilustración 7. Vista interior de la capilla durante el levantamiento	20
Ilustración 8. Registro fotográfico del levantamiento	21
Ilustración 9. Modelo preliminar de Revit antes de exportar	22
Ilustración 10. Modelo exportado de Revit a Robot	22
Ilustración 11. Espectro de diseño cargado para el análisis estructural	23
Ilustración 12. Combinaciones de carga	23
Ilustración 13. Modelo analizado en Robot	24
Ilustración 14. Capilla modelada con refuerzo	24
Ilustración 15. Introducción de parámetros de distribución geométrica del refuerzo	25
Ilustración 16. refuerzo propuesto por Robot Structural Analysis	25
Ilustración 17. Sección transversal típica de refuerzo.	26
Ilustración 18. Estructura completamente modelada.	27
Ilustración 19. Acero de refuerzo aislado.	27
Ilustración 20. Primer plano de estructura modelada.	28
Ilustración 21. Primer plano de refuerzo aislado.	28
Ilustración 22. Captura de extracción de cantidades de muro.	29
Ilustración 23. Captura de extracción de cantidades de enchape en piedra.	29
Ilustración 24. Captura de extracción de cantidades de concreto.	30
Ilustración 25. Captura de extracción de cantidades de muro.	30
Ilustración 26. Modelado del proceso constructivo perspectiva frontal de intervención.	32
Ilustración 27. Modelado del proceso constructivo perspectiva posterior de intervención.	32
Ilustración 28. Modelado antes y después de la intervención de reforzamiento, vista frontal.	33
Ilustración 29. Modelado antes y después del reforzamiento, vista posterior.	33
Ilustración 30. Render interior con reforzamiento para analizar la conservación de las características arquitectónicas.	34
Ilustración 31. Modelo general de intervención cortado a nivel N0+2.00.	34

Ilustración 32. Plano de intervención de vigas a nivel N0+4.20.	35
Ilustración 33. Estructura de descomposición del trabajo (WBS).	36
Ilustración 34. Cronograma de actividades propuesto.	37
Ilustración 35. Disposición del sol previo al estudio de iluminancia y sombras.	38
Ilustración 36. Estudio de llegada de LUX por iluminación natural	39
Ilustración 37. Resultados del análisis de proyección de sombras.	40
Ilustración 38. Panorámica de la capilla durante el proceso de ejecución.	41
Ilustración 39. Seguimiento al proceso constructivo, primer plano interior.	41
Ilustración 40. Seguimiento al proceso constructivo, primer plano posterior.	42
Ilustración 41. Izq. Modelado armado de refuerzo. Der. Foto de ejecución de la actividad.	43
Ilustración 42. Izq. Modelado de formaleta. Der. Foto de ejecución de la actividad.	43
Ilustración 43. Izq. Modelado columna terminada. Der. Foto de ejecución de la actividad.	44
Ilustración 44. Gráfica Tiempo Vs Dinero para Gestión del Valor Ganado.	47
Ilustración 45. Modelo articulado del colegio con proyecto piloto y demás bloques gestionados con BIM.	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de presupuesto del proyecto.	31
Tabla 2. Comparación horas de consultoría con metodología tradicional Vs. Tecnología BIM	45
Tabla 3. Índices de primer y segundo orden para Gestión del Valor Ganado (EVM)	46

RESUMEN

TÍTULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA S.A.S. PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO PILOTO CON TECNOLOGÍA BUILDING INFORMATION MODELING PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL*.

AUTOR: NÉSTOR ALBEIRO JAIMEZ PLATA**

PALABRAS CLAVE: BIM, Gestión de proyectos, *Stakeholders*, Reforzamiento Estructural.

Building Information Modeling (BIM) es una tecnología que permite la representación digital de elementos físicos de un proyecto de construcción. Establece un lenguaje común que promueve la integración de los *stakeholders* del proyecto y permite a profesionales de diferentes disciplinas e inversionistas que no tienen el contexto técnico tomar decisiones de forma ágil a partir del lenguaje común que establece el modelado paramétrico. La multidisciplinariedad de BIM permite recrear digitalmente la estructura, arquitectura y realizar análisis para cada disciplina a partir de un modelo unificado, efectuar extracción de cantidades de precisión en etapas tempranas del proyecto, obtener planos de forma más eficiente que a través tecnologías CAD y extraer información explícita resultado de análisis en el entorno BIM prescindiendo de software adicional.

Para el caso de estudio se implementó *Building Information Modeling* desde la etapa de concepción hasta el control de la ejecución de un proyecto de reforzamiento estructural. Como resultado se encontraron ventajas frente a los procesos tradicionales tales como: Integración de los miembros del equipo de trabajo, facilidad para modelar cambios en cualquier fase del proyecto, agilidad en la toma de decisiones a partir de la evaluación de escenarios y disminución en la cantidad de horas de trabajo necesarias para realizar consultoría en comparación con un proyecto de características similares, los resultados obtenidos convirtieron el uso de BIM en el nuevo estándar para la gestión del proyecto en la compañía.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz.

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE IN INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA S.A.S. FOR THE IMPLEMENTATION OF A BUILDING INFORMATION MODELING PILOT PROJECT FOR STRUCTURAL REINFORCEMENT PROJECT MANAGEMENT*.

AUTHOR: NÉSTOR ALBEIRO JAIMEZ PLATA**

KEYWORDS: BIM, Project Management, Stakeholders, Structural Reinforcement.

Building Information Modeling (BIM) is a technology that allows digital representation of physical elements of a construction project. Establishes a common language that promotes the integration of project stakeholders and allows professionals from different disciplines and investors who do not have the technical context take agile decisions from common language that sets the parametric modeling. The characteristic multidisciplinary of BIM allows digitally recreate the structure, architecture and analysis for each discipline from a unified model, making extraction amounts of precision in the early stages of the project, get planes more efficiently than through technologies CAD (computer aided design) form and extract information explicit result of analysis in the BIM environment regardless of additional software.

For the case study was implemented Building Information Modeling from the design stage to control the execution of a project of structural reinforcement. As a result advantages were found over traditional processes such as: Integration team members working, easy changes in the model in any phase of the project, agility in making decisions based on the assessment of scenarios and decreased amount working hours needed to perform consulting compared to a similar project, the results obtained using BIM became the new workflow in the standard for project management in the company.

* Degree Work

** Faculty of Physico-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Hernán Porras Díaz.

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos con herramientas tradicionales genera desarticulación de los *stakeholders*, insatisfacción de inversionistas, sobrecostos y retrasos en ejecuciones.

Building Information Modeling es una tecnología que como herramienta logra transparencia en los proyectos y permite a inversionistas, diseñadores y constructores hablar en un lenguaje común de modelado paramétrico al tiempo que facilita extracción de cantidades, correcciones eventuales en los diseños y obtención de planos.

Con la correcta implementación de la tecnología BIM se articula el rol de BIM manager, una figura transversal a las diferentes etapas del proyecto que se encarga del modelado, dirección técnica, desarrollo del plan de ejecución BIM y para este caso, al tratarse de una nueva tecnología, del proceso de sensibilización con los miembros de la empresa.

1. PRELIMINARES

1.1. SOBRE INGENIERÍA TÉCNICA Y CIENTÍFICA SAS

ITEC SAS, es una empresa de consultoría y construcción de proyectos de construcción con diferentes ramas dentro de las cuales se destacan: Amenazas naturales, vulnerabilidad y riesgo sísmico, riesgo catastrófico para aseguradoras, tecnologías de información y desarrollo de software y consultoría estructural y geotécnica.

A cabeza de Luis Eduardo Yamín, director del Centro de investigación de materiales y obras civiles de la Universidad de los Andes, la empresa tiene toda una red de profesionales que le permite abarcar un amplio espectro de proyectos de diferente naturaleza aplicando metodologías innovadoras y desarrollos tecnológicos modernos.

1.2. SOBRE LAS TECNOLOGÍAS BUILDING INFORMATION MODELING.

BIM es la sigla empleada para hablar de la tecnología *Building Information Modeling*, definida por la AGC (*Associated General Contractors of America*) como: “tecnología que permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes, que ayudan a simular la construcción” (Ernstrom, Hanson, & Hill, 2011) de esto podemos pensar el modelo BIM como una representación digital de la cual es posible extraer información explícita y modificable.

Uno de los objetivos en la implementación de BIM consiste en obtener un modelo con información almacenada de los elementos de construcción (vigas, columnas, placas, muros), dicho modelo podrá ser alimentado en cualquier instante por nueva información producida en el equipo de diseño del proyecto y en cualquiera de sus fases será posible extraer información como dimensiones en los ejes x, y, y z de los elementos, material de construcción, ubicación espacial en el proyecto, propiedades mecánicas del material, área, volumen, especificaciones técnicas de construcción, texturas, fase del proyecto a la que pertenece el elemento y detalles en general, entre otros. (Porrás, Sanchez, Galvis, Jaimez, & Castañeda, 2015)

1.3. PLAN DE EJECUCIÓN BIM

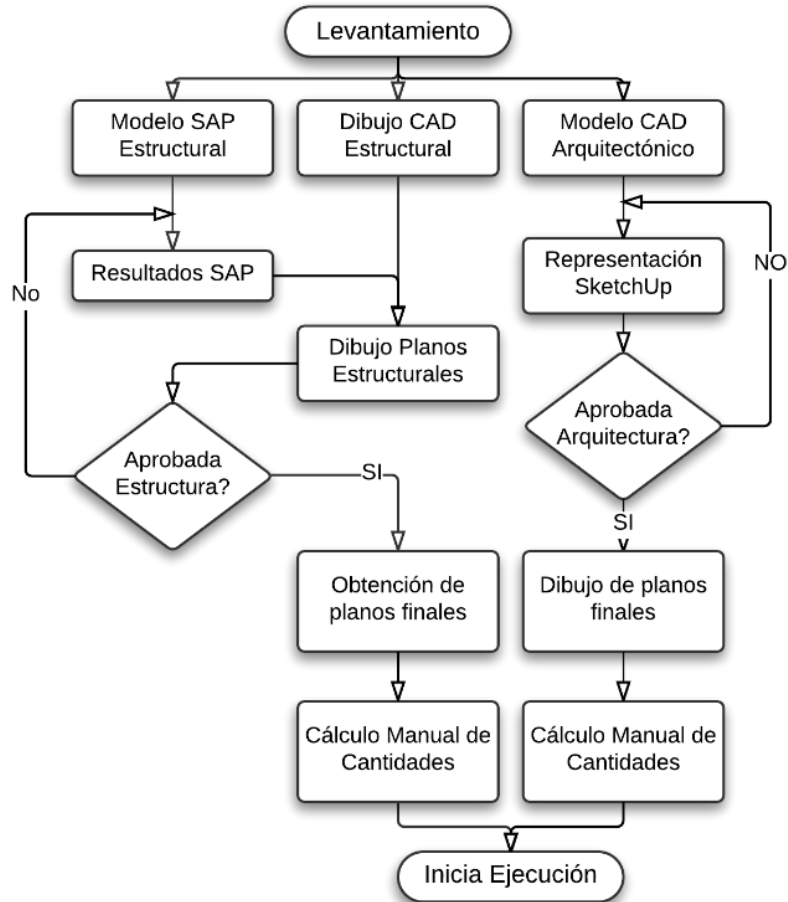
La implementación de BIM en el flujo de trabajo de la compañía implicaba un cambio de paradigma y en general del flujo de trabajo, pues realizar un reemplazo directo de software de AutoCad a Revit sería subutilizar el programa y el potencial de la tecnología.

En general el rol de Revit como herramienta para extracción de información gráfica (Planos) representó una reducción significativa en los tiempos necesarios para realizar cambios en diseños, pues con el uso de tecnologías CAD el dibujante se había convertido en el recurso cuello de botella y solía generar retrasos en las entregas de proyectos de consultoría.

Trabajando a partir de un modelo articulado, la relación entre los diferentes profesionales que realizan la consultoría se estrecha, las retroalimentaciones tienen aplicación inmediata y el “dibujante” deja de existir para dar paso al “BIM Manager” un rol que se articula con diferentes ramas de la empresa generando valor.

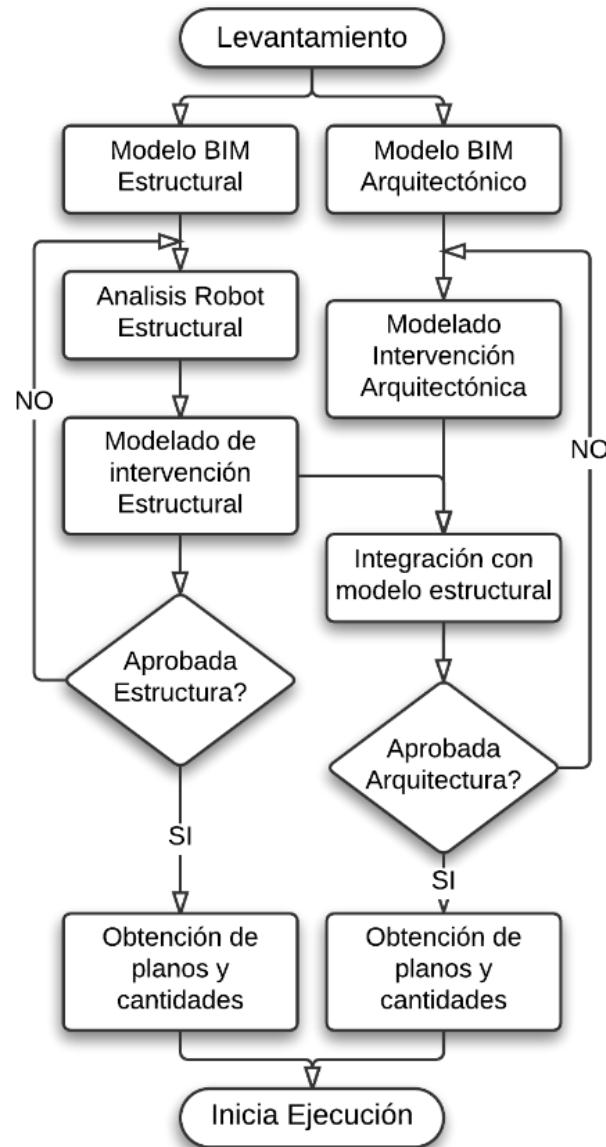
En la ilustración 1 se aprecia el flujo de trabajo convencional de la empresa antes de la implementación de BIM, se destaca la desarticulación entre las ramas estructurales y arquitectónicas que sólo se encuentran al momento de la ejecución, así como un doble modelo (uno meramente ilustrativo en AutoCad y otro técnico en SAP) para definir el proyecto en términos estructurales.

Ilustración 1. Flujo de trabajo convencional en ITEC



En la ilustración 2 se ilustra el nuevo flujo de trabajo donde aunque se mantienen parcialmente separados los modelos estructurales y arquitectónicos, éstos se articulan y complementan para establecer una propuesta unificada. Por otra parte no es necesario realizar un modelo técnico y un modelo ilustrativo, dado que a través del Software *Robot Structural Professional Analysis* se logra una vinculación en entorno BIM en que es posible realizar análisis estructural con resultados equivalentes. Además la obtención de planos y cantidades se optimiza dado que no se trata de una actividad independiente sino simplemente de extracción y organización de información del modelo unificado.

Ilustración 2. Flujo de trabajo BIM propuesto



1.4. PROCESO DE SENSIBILIZACIÓN

BIM requiere de un proceso de trabajo más colaborativo que el habitual y de implantar la idea de que no trata simplemente de un nuevo software sino de una nueva tecnología que implica un cambio de mentalidad donde se deja a un lado el dibujo asistido en computadora (CAD) y se empiezan a construir virtualmente

elementos del proyecto que tiene propiedades tanto geométricas como físicas y con las cuales es posible realizar diferentes tipos de análisis y extraer información de alta precisión.

Para el proceso de sensibilización se realizaron reuniones, se mostraron casos exitosos de aplicación y se realizó parte del modelado en reuniones colectivas para a través de la transparencia en el proceso ganar credibilidad y convencer a profesionales de diferentes niveles dentro de la organización de las ventajas de la tecnología y de cómo su implementación iba a generar valor y una ventaja competitiva en el mercado.

Ilustración 3. Registro fotográfico proceso de sensibilización



Ilustración 4. Registro fotográfico proceso de sensibilización



2. ETAPA DE DISEÑO PRELIMINAR

2.1. LEVAMIENTO DE ESTRUCTURA EXISTENTE

Para el levantamiento de la estructura se realizaron 3 visitas donde se tomaron medidas, identificaron elementos estructurales y no estructurales, se realizaron apiques para determinar la existencia, características de cimentación y en general definir todos los parámetros necesarios para modelar la estructura.

Aunque se realizaron tantos apiques como se consideraron necesarios siempre se maneja cierto nivel de incertidumbre, pues por falta de interventoría en la construcción de algunas de estas edificaciones suelen presentarse variaciones incluso entre elementos que se suponen idénticos a primera vista.

Ilustración 5. Apique para determinar características de la estructura



Ilustración 6. Toma de medidas para determinar características de la estructura



Ilustración 7. Vista interior de la capilla durante el levantamiento



Ilustración 8. Registro fotográfico del levantamiento



2.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Con la información de entrada completa se modeló la estructura existente del proyecto piloto como un pórtico de concreto y muros tipo Shell, éste modelo se exportó a *Robot Structural Professional Analysis* donde con la geometría definida se aplicaron las cargas de cubierta, viva, viva de cubierta, granizo, se establecieron las combinaciones de carga de norma y se realizó el análisis modal espectral y de fuerza horizontal equivalente. Con el apoyo del ala estructural de la empresa se garantizó el cumplimiento de la NSR-10.

Ilustración 9. Modelo preliminar de Revit antes de exportar

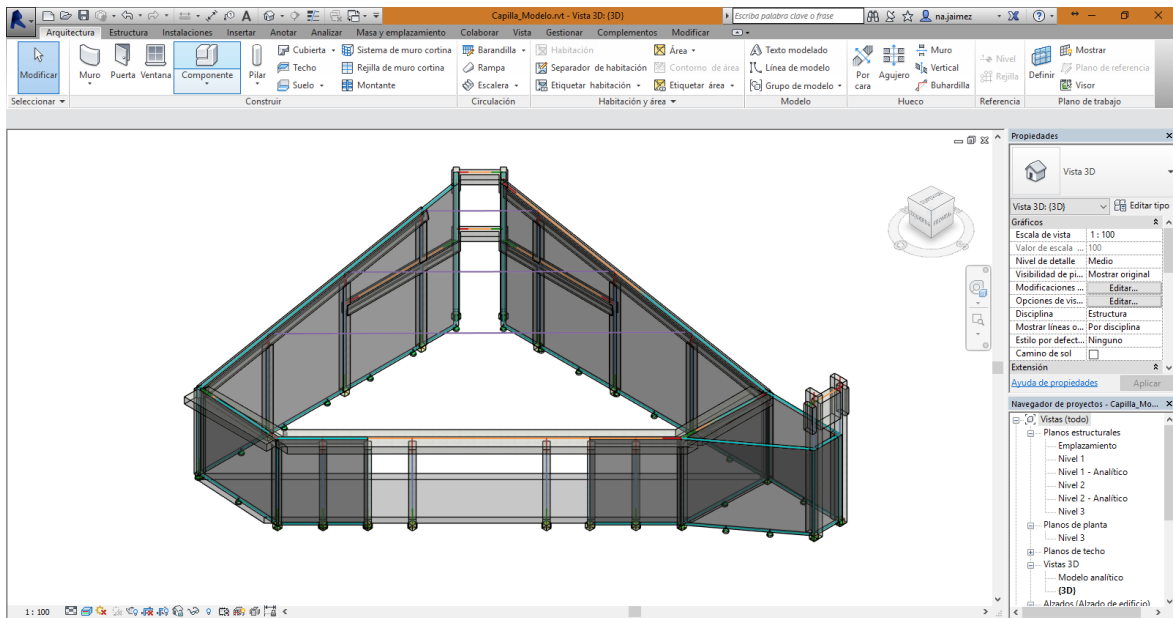


Ilustración 10. Modelo exportado de Revit a Robot

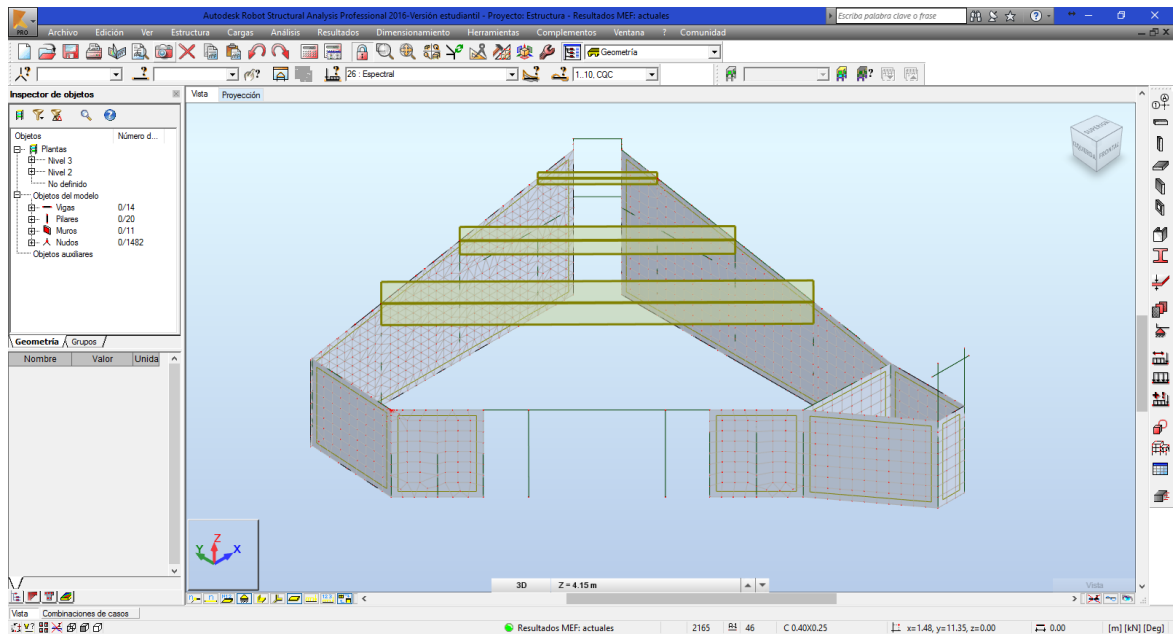


Ilustración 11. Espectro de diseño cargado para el análisis estructural

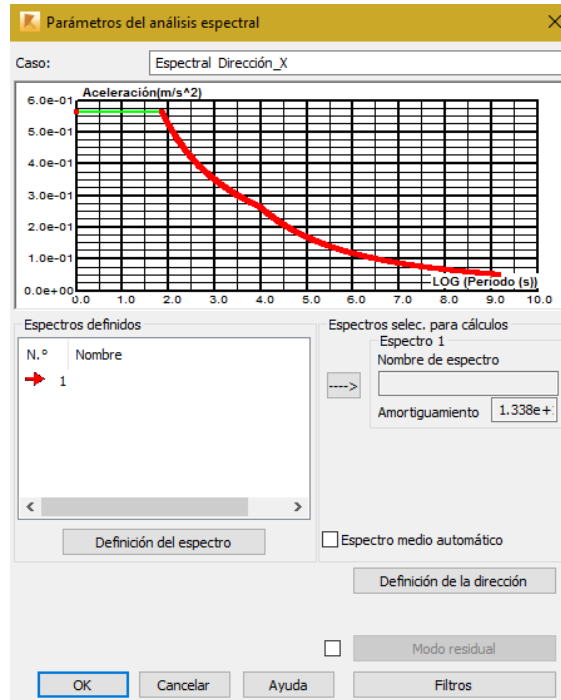


Ilustración 12. Combinaciones de carga

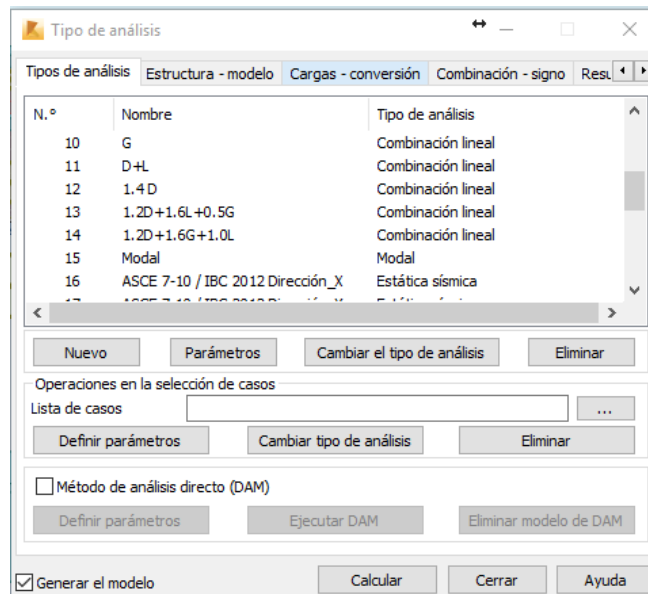
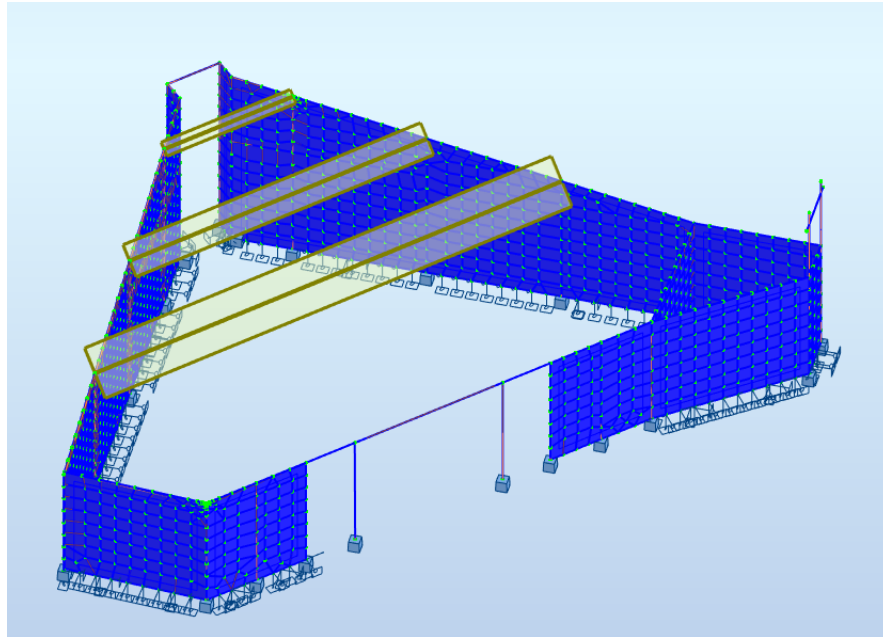
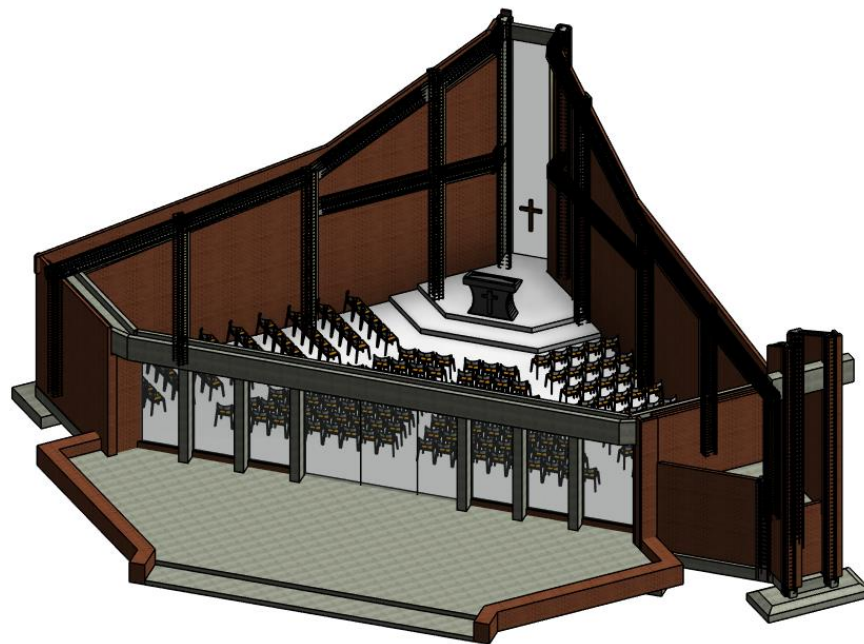


Ilustración 13. Modelo analizado en Robot



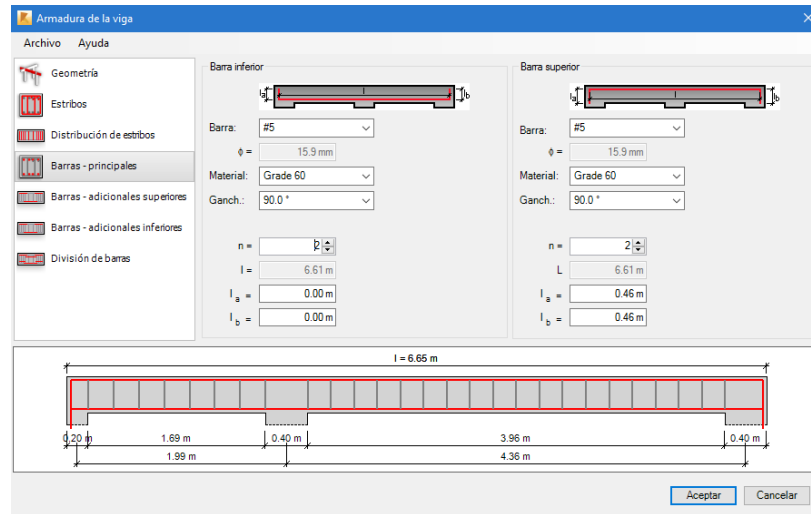
2.3. PROPUESTA DE REFORZAMIENTO

Ilustración 14. Capilla modelada con refuerzo



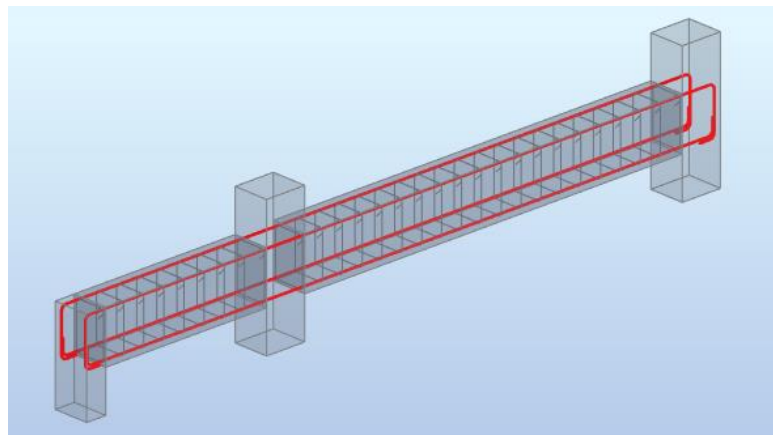
Dentro de las ventajas del uso de *Robot Estructural Professional Analysis* como herramienta para el análisis estructural se encuentra el “Diseño de armaduras típicas” un instrumento que permite al diseñador tener un pre-dimensionamiento automático del acero a partir de parámetros geométricos de entrada.

Ilustración 15. Introducción de parámetros de distribución geométrica del refuerzo



Éste instrumento además de obtener el armado del acero de refuerzo que posteriormente se exporta a Revit, facilita la obtención de informes detallados de cada elemento diseñado.

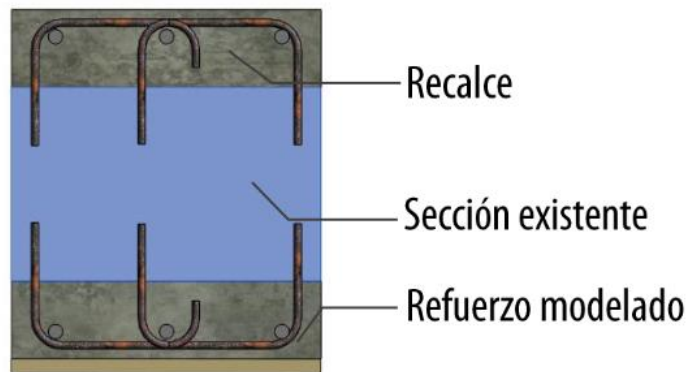
Ilustración 16. Refuerzo propuesto por Robot Structural Analysis



No obstante al tratarse de un reforzamiento estructural y no de una nueva estructura, el esquema de reforzamiento obtenido en Robot no es directamente aplicable.

La metodología para definir la estructura de refuerzo consiste en asumir que las secciones de los elementos de concreto no tienen acero de refuerzo (sección maciza de concreto) y que el acero necesario para el óptimo comportamiento estructural se debe garantizar a partir de recalces de vigas y columnas, esto representó un inconveniente para la importación del refuerzo de *Robot Estructural Professional Analysis* a Revit, pues fue necesario modelar los recalces manualmente.

Ilustración 17. Sección transversal típica de refuerzo.



Con el refuerzo totalmente modelado es posible extraer información de cantidades de refuerzo de alta precisión y realizar despieces de refuerzo, en la ilustración 18 se aprecia el modelo completo con el refuerzo sobrepuesto, en la ilustración 19 el refuerzo aislado.

La posibilidad de aislar categorías determinadas del modelo permite verificar conexiones y distribución del refuerzo, facilita observar interferencias y es una herramienta clave para el desarrollo del cronograma y planteamiento del proceso constructivo.

Ilustración 18. Estructura completamente modelada.



Ilustración 19. Acero de refuerzo aislado.



Ilustración 20. Primer plano de estructura modelada.

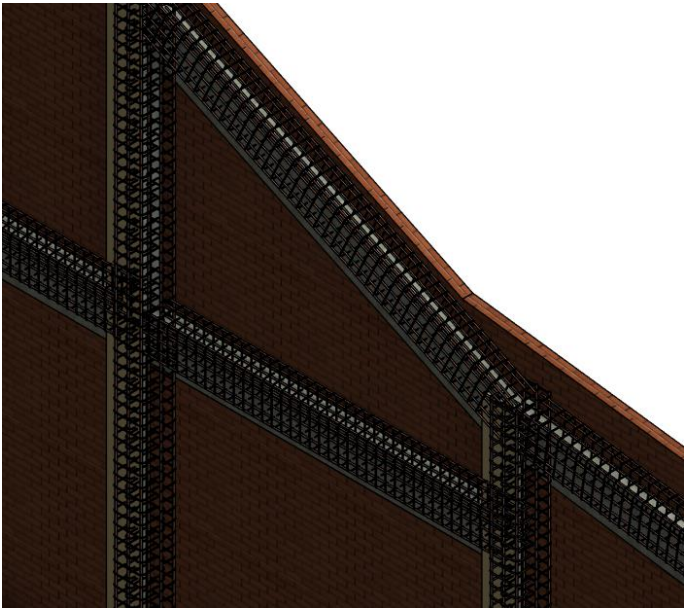
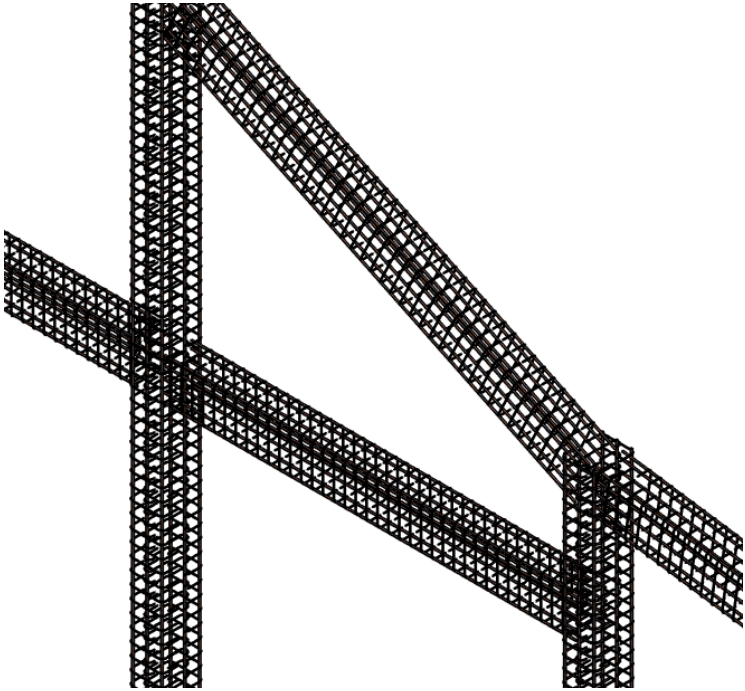


Ilustración 21. Primer plano de refuerzo aislado.



2.4. PROPUESTA ECONÓMICA – PRESUPUESTO

A partir del modelo paramétrico de Revit se extrajeron cantidades de precisión para calcular el costo de ejecución material del proyecto.

Los valores unitarios fueron definidos de acuerdo a los parámetros de costo establecidos por la empresa, el resultado del presupuesto se muestra en la Ilustración 20.

Ilustración 22. Captura de extracción de cantidades de muro.

<Cantidades de Muros>	
A	B
Tipo	Material: Área
Muro Intervenido	123 m ²
Muro Intervenido: 34	123 m ²
Muro NO Intervenido	416 m ²
Muro NO Intervenido: 52	416 m ²

Ilustración 23. Captura de extracción de cantidades de enchape en piedra.

<Acabados Arquitectónicos>	
A	B
Tipo	Material: Área
Enchape Piedra Muñeca	26 m ²
Enchape Piedra Muñeca: 10	26 m ²

Ilustración 24. Captura de extracción de cantidades de concreto.

<Cantidad de Concreto>	
A	B
Material: Nombre	Material: Volumen
Concreto Estructura Existente	92.83 m ³
Concreto Estructura Existente: 114	92.83 m ³
Concreto Recalce Columnas	7.24 m ³
Concreto Recalce Columnas: 61	7.24 m ³
Concreto Recalce Vigas	4.81 m ³
Concreto Recalce Vigas: 34	4.81 m ³

Ilustración 25. Captura de extracción de cantidades de muro.

<Metros lineales de barras de refuerzo>	
A	B
Tipo	Longitud de barra
10M	39.68 m
10M: 72	39.68 m
16M	729.95 m
16M: 194	729.95 m
19M	283.16 m
19M: 48	283.16 m

Tabla 1. Resumen de presupuesto del proyecto.

CAP.	DESCRIPCIÓN	TOTAL CAPITULO
1	DISEÑOS	\$ 15.400.000
2	PRELIMINARES	\$ 7.686.750
3	DEMOLICIONES	\$ 6.450.730
4	ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO	\$ 16.889.194
5	OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN	\$ 19.089.420
6	OBRAS DE ADECUACIÓN	\$ 21.069.820
7	MANO DE OBRA	\$ 80.640.000

COSTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	\$ 167.225.914
AIU (30%)	\$ 50.167.774
IMPUESTO SOBRE LAS UTILIDADES	\$ 8.026.844

COSTO TOTAL DE INTERVENCIÓN	\$ 225.420.532
------------------------------------	-----------------------

2.5. PRESENTACIÓN DE PROPUESTA DE REFORZAMIENTO A INVERSIONISTAS

Una de las grandes ventajas de BIM es lograr establecer un lenguaje común entre todos los *stakeholders* del proyecto, en especial los inversionistas que suelen ser personas que no tienen el contexto técnico y para quienes los planos o representaciones bidimensionales no les aportan información suficiente para una ágil toma de decisiones.

De nuevo usando el modelo de Revit se realizaron renders de cómo se vería el reforzamiento estructural, cuál sería proceso constructivo de la intervención y cuál sería el resultado estético final dado que la capilla, edificio del caso de estudio, es la piedra angular de la arquitectura del colegio y resulta de especial valor para los clientes.

Ilustración 26. Modelado del proceso constructivo perspectiva frontal de intervención.

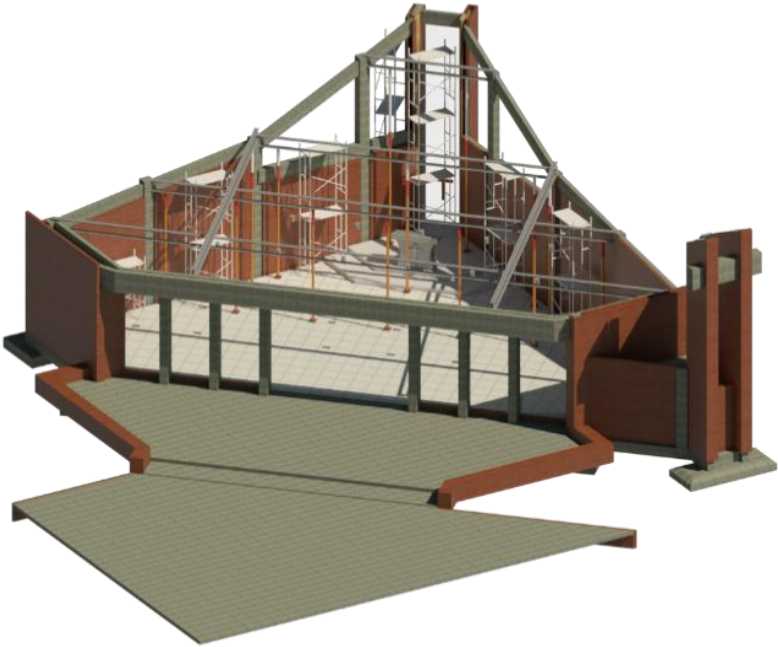


Ilustración 27. Modelado del proceso constructivo perspectiva posterior de intervención.

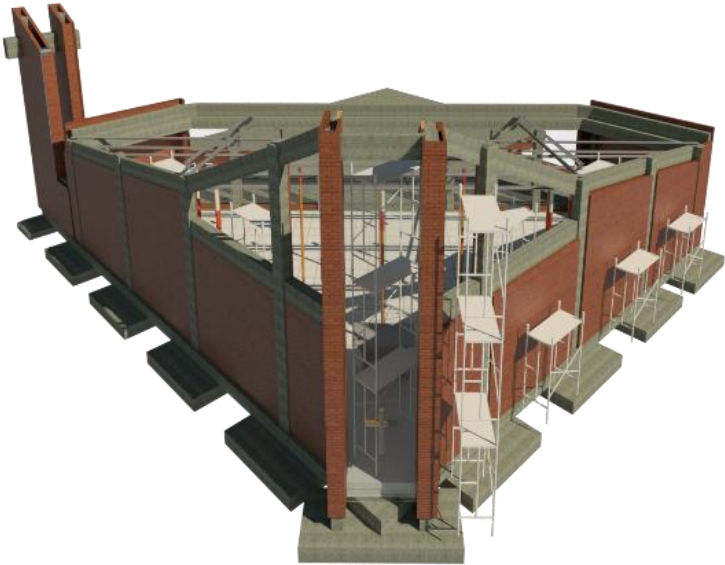


Ilustración 28. Modelado antes y después de la intervención de reforzamiento, vista frontal.



BEFORE

AFTER

Ilustración 29. Modelado antes y después del reforzamiento, vista posterior.



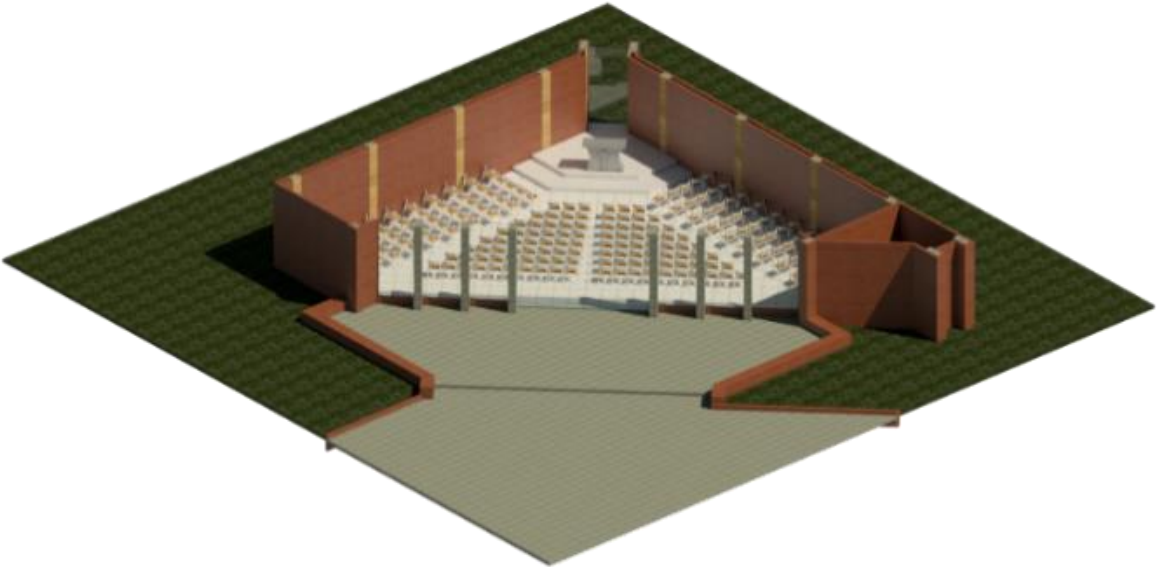
BEFORE

AFTER

Ilustración 30. Render interior con reforzamiento para analizar la conservación de las características arquitectónicas.



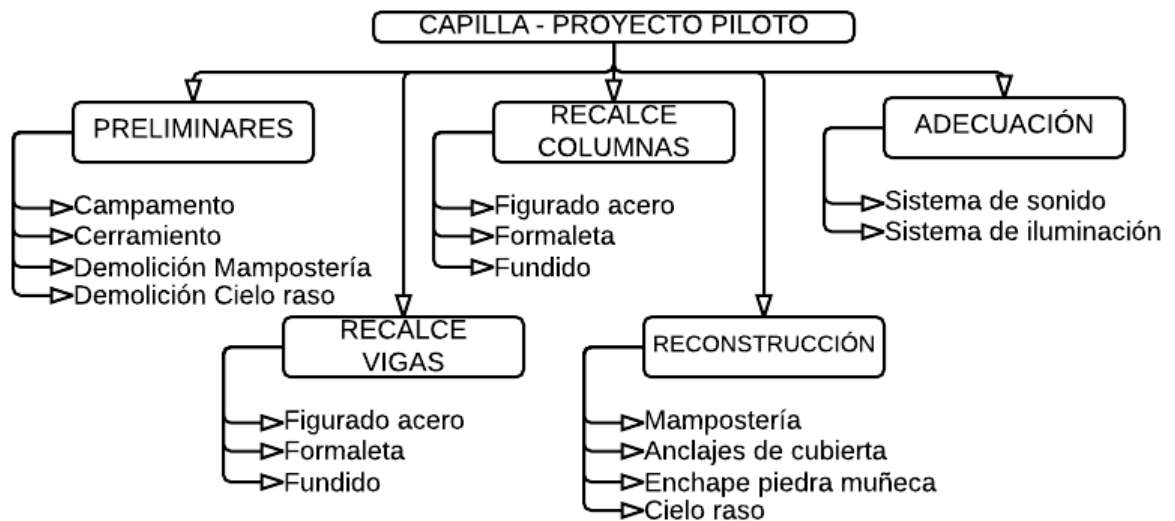
Ilustración 31. Modelo general de intervención cortado a nivel N0+2.00.



3.3. DESARROLLO DEL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

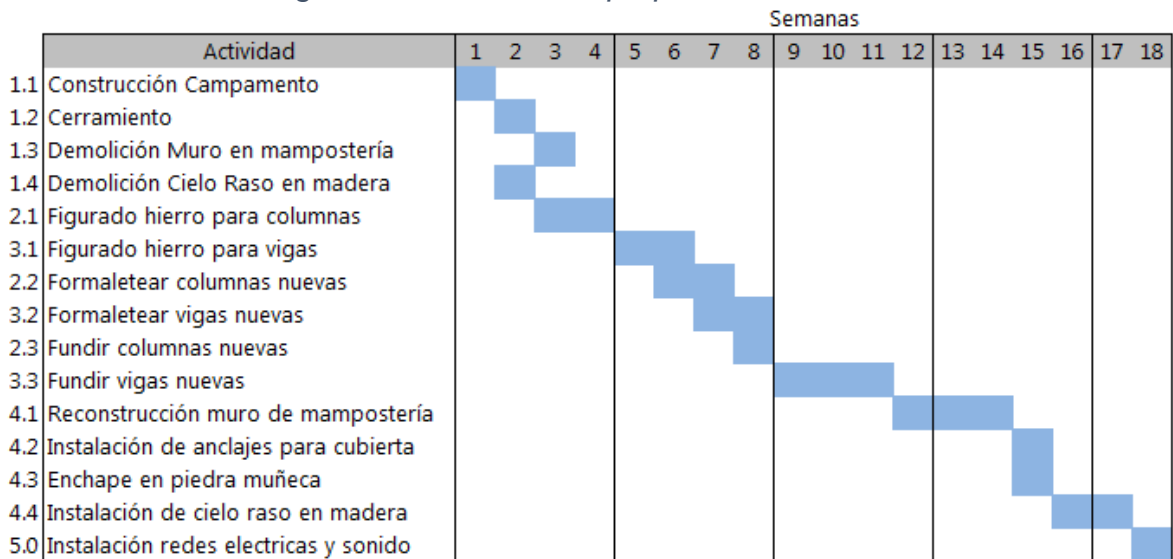
Para el desarrollo del cronograma de actividades se realizó la estructura de descomposición de trabajo (*Work Breakdown Structure* o WBS) dividiendo el proyecto en 5 capítulos generales y estableciendo para cada capítulo actividades entregables de control. (Ilustración 33)

Ilustración 33. Estructura de descomposición del trabajo (WBS).



Paso seguido se estableció un cronograma de tipo diagrama de Gantt con cada entregable de la WBS teniendo en cuentas las precedencias de actividades y los rendimientos históricos de proyectos con características similares.

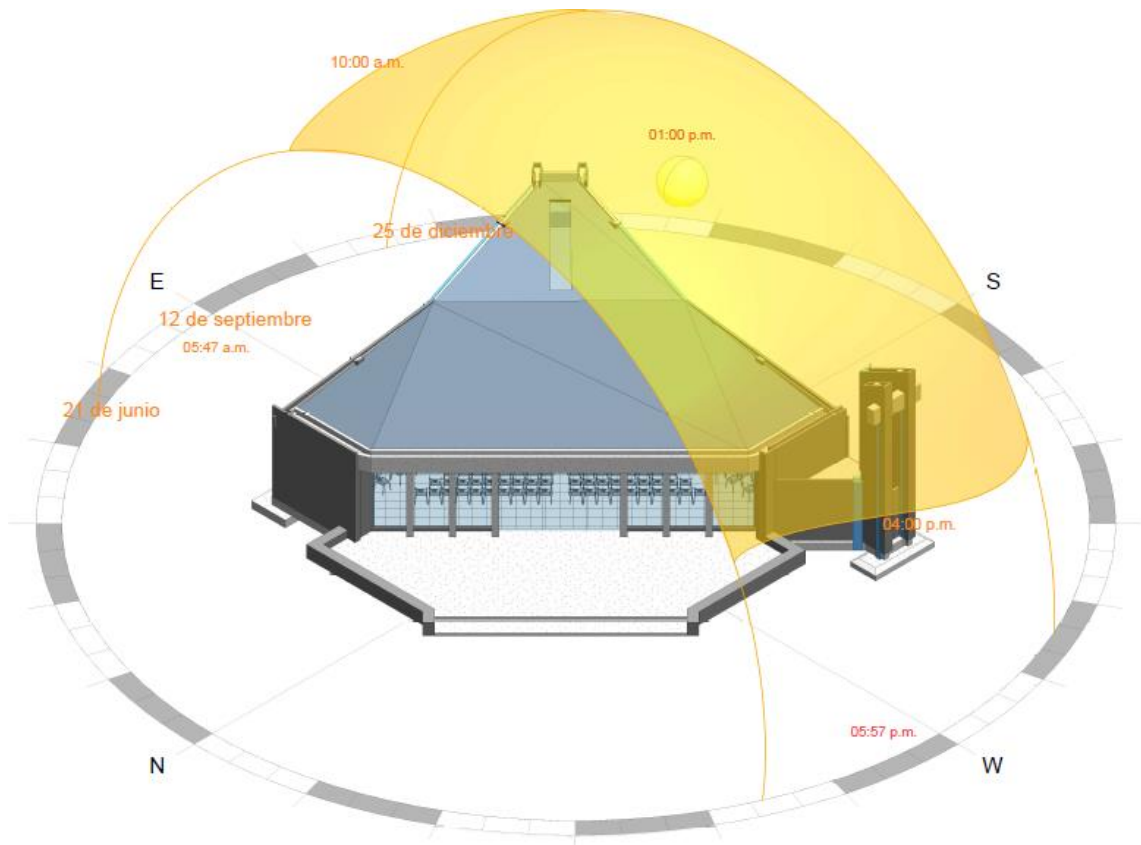
Ilustración 34. Cronograma de actividades propuesto.



3.4. INTERVENCIÓN ARQUITECTÓNICA

Dentro de las obras adicionales al reforzamiento estructural se encontraba la adecuación y remodelación de la edificación enfocada al confort de las actividades que resguarda. Para éste fin se realizaron 2 estudios:

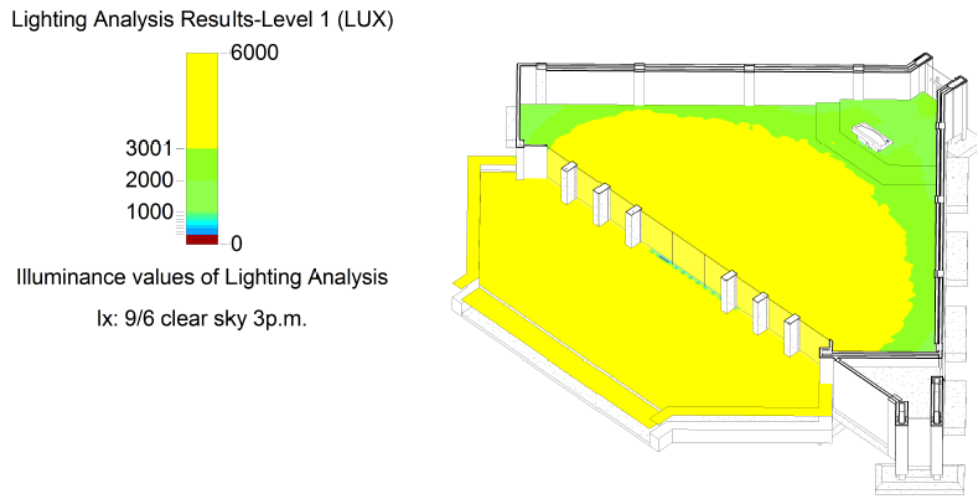
Ilustración 35. Disposición del sol previo al estudio de iluminancia y sombras.



El primero fue un estudio de iluminancia para medir la cantidad de flujo luminoso que incide sobre la superficie por unidad de área y verificar que la iluminación natural era suficiente para iluminar de forma clara y sin deslumbramiento de acuerdo a los parámetros de la Comisión Internacional de la Iluminación CIE (de su nombre en francés *Commission internationale de l'éclairage*).

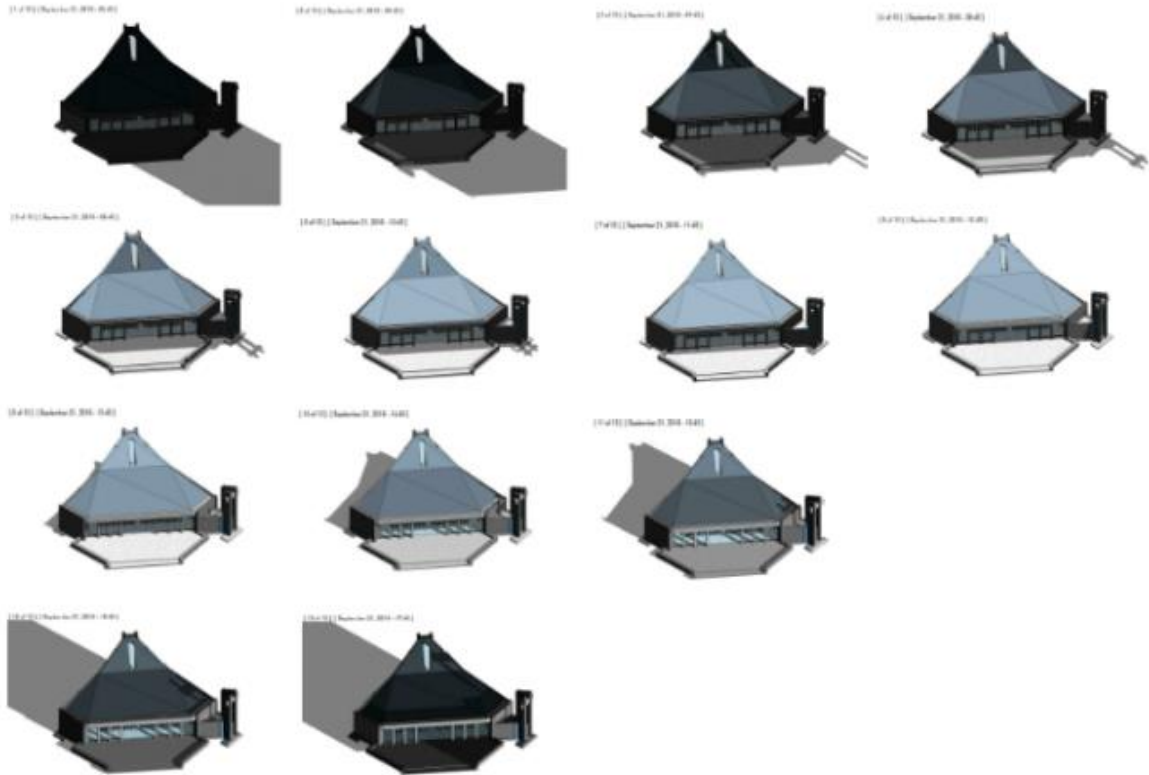
De acuerdo al estudio se encontró que la capilla cuenta con iluminación natural eficiente teniendo en su mayor parte iluminancia por encima de los 3000 LUX y en la parte menos iluminada entre 1000 y 2000 LUX que de acuerdo los niveles de iluminación establecidos por la CIE permite tareas visuales de alta exigencia. (*International Commission on Illumination, 2002*)

Ilustración 36. Estudio de Llegada de LUX por iluminación natural



En segundo lugar se realizó un estudio de sombras para analizar el efecto de las estructuras adyacentes en la forma en que recibía luz la capilla así como las sombras que proyectaba la capilla a lo largo del día, para tal efecto se estableció en los parámetros de configuración el día 21 de Septiembre, inicio del solsticio de verano como el día de análisis, dado que es éste el día en que el sol tiene mayor inclinación para Bogotá. Como resultado se obtuvo que dado que las estructuras adyacentes no son de gran altura no afectan negativamente la forma en que impacta la radiación sobre la capilla y que a su vez, la capilla no afecta el desarrollo de las actividades de las demás edificaciones pues cuando genera sombra sobre éstas no se desarrolla actividad alguna.

Ilustración 37. Resultados del análisis de proyección de sombras



4. CONTROL DEL PROYECTO

Se realizaron visitas semanales al proyecto para realizar seguimiento fotográfico y control del porcentaje de avance para efectuar el análisis de valor ganado, el control de costos se realizó a partir de la información suministrada de parte del área de contabilidad donde se registraban las compras y fechas de entrega de materiales.

Ilustración 38. Panorámica de la capilla durante el proceso de ejecución.



Ilustración 39. Seguimiento al proceso constructivo, primer plano interior



Ilustración 40. Seguimiento al proceso constructivo, primer plano posterior.



El uso de tecnología BIM facilita el seguimiento de obra y del proceso constructivo, pues es posible establecer puntos de control y a partir de la información extraída del modelo saber exactamente como deben lucir en una fecha determinada.

Ilustración 41. Izq. Modelado armado de refuerzo. Der. Foto de ejecución de la actividad.



Ilustración 42. Izq. Modelado de formaleta. Der. Foto de ejecución de la actividad.



Ilustración 43. Izq. Modelado columna terminada. Der. Foto de ejecución de la actividad



Lograr modelar de forma detallada cada aspecto de la estructura facilita las labores de interventoría pues es posible hacer verificación y control de cualquier elemento ubicándose virtualmente el proyecto y comparándolo con lo que se encuentra en obra. En las ilustraciones 38 a la 40 se muestra el modelado del proceso constructivo a la izquierda comparado con fotos tomadas en obra para el control de armado de refuerzo, formaleta, y columna terminada.

5. RESULTADOS

5.1. COMPARACIÓN DE COSTOS Y TIEMPO DE CONSULTORÍA.

Para el análisis de costos y tiempo en consultoría se comparó el proyecto piloto “capilla” (220 m², 1 piso) con un proyecto de características similares (Bloque de kínder del mismo colegio, 250 m², 1 piso). Gracias a un registro de actividades por horas de los empleados fue posible establecer el número de horas de trabajo dedicadas a cada actividad, se calculó el número de horas por metro cuadrado (Horas actividad/metros cuadrados de intervención) y se calculó el ahorro porcentual usando BIM y el nuevo flujo de trabajo.

Tabla 2. Comparación horas de consultoría con metodología tradicional Vs. Tecnología BIM

ACTIVIDAD	BIM TOTAL [Horas]	M.T.** TOTAL [Horas]	BIM [Horas/m2]	M.T.**[Horas/m2]	AHORRO [Horas]	AHORRO (%)
MODELO ESTRUCTURAL (GEOMETRÍA)	24	56	0,11	0,22	23,0	57,14%
MODELO ESTRUCTURAL (CARGAS Y ANÁLISIS)	24	40	0,11	0,16	10,2	40,00%
MODELO ESTRUCTURAL (RESULTADOS Y	24	32	0,11	0,13	3,8	25,00%
CÁLCULO DE CANTIDADES	4	16	0,02	0,06	9,2	75,00%
REALIZACIÓN PRESUPUESTO	24	24	0,11	0,10	0,0	0,00%
REALIZACIÓN DE CRONOGRAMA	24	24	0,11	0,10	0,0	0,00%
REALIZACIÓN DE PLANOS	32	72	0,15	0,29	28,5	55,56%
TOTAL TRABAJO [Horas]	156	264			108	40,91%

**METODOLOGÍA TRADICIONAL

5.2. COMPARACIÓN DE COSTOS Y TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.

La gestión del valor ganado (*Earned Value Management*) es la mejor herramienta para medir el avance de los proyectos pues considera la inter-relación entre producción, costo y tiempo del proyecto. (Ponz, Pelliacer, & Yepes, 2012)

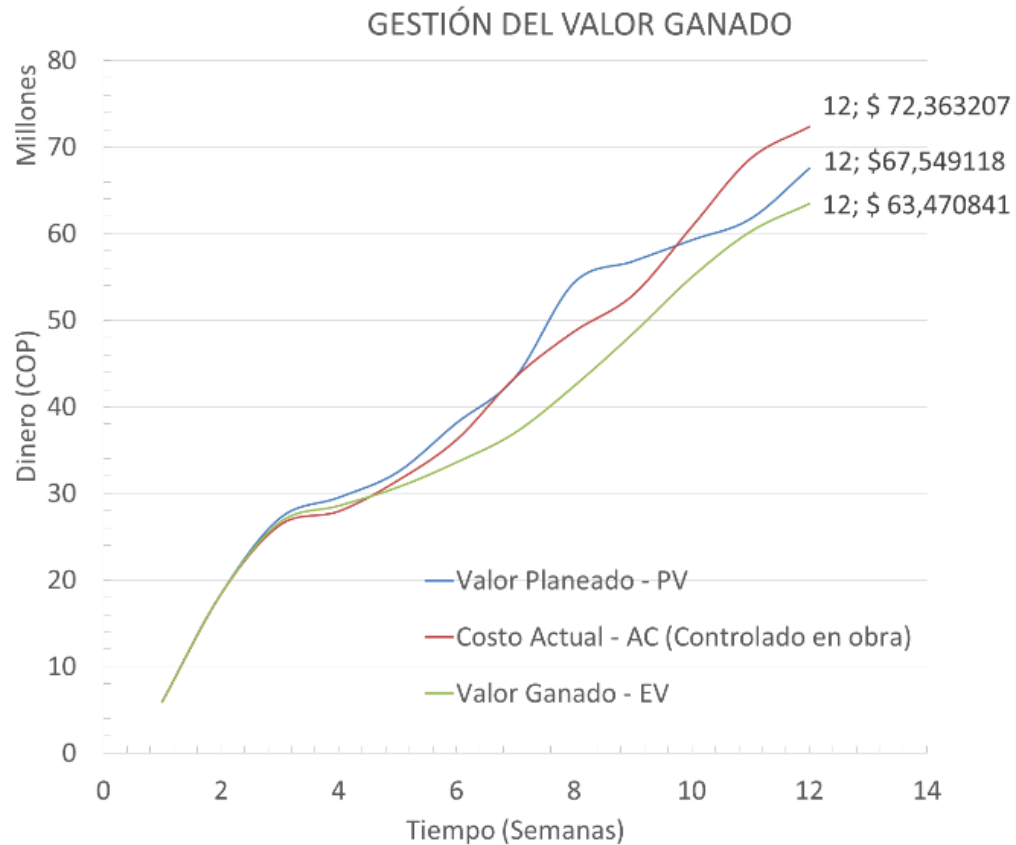
La gestión del valor ganado compara la cantidad de trabajo completado (Costo Actual) con la estimación realizada en etapas tempranas del proyecto (Valor planeado).

Para el caso de estudio se realizó control de obra (Capítulo 5) y a partir de la información compilada se documentó el costo acumulado y el porcentaje de avance del proyecto y se comparó con el costo y el porcentaje de avance proyectado pro prorratio.

Tabla 3. Índices de primer y segundo orden para Gestión del Valor Ganado (EVM)

Actual Cost (AC)	\$ 72.363.207,33	
Earned Value (EV)	\$ 63.470.840,67	
Planned Value (PV)	\$ 67.549.118,44	
Cost Variance (CV)	\$ (8.892.366,67)	(EV-AC)
Schedule Variance (SV)	\$ (4.078.277,78)	(EV-PV)
Cost Performance Index (CPI)	0,88	(EV/AC)
Schedule Performance Index (SPI)	0,94	(EV/PV)

Ilustración 44. Gráfica Tiempo Vs Dinero para Gestión del Valor Ganado.



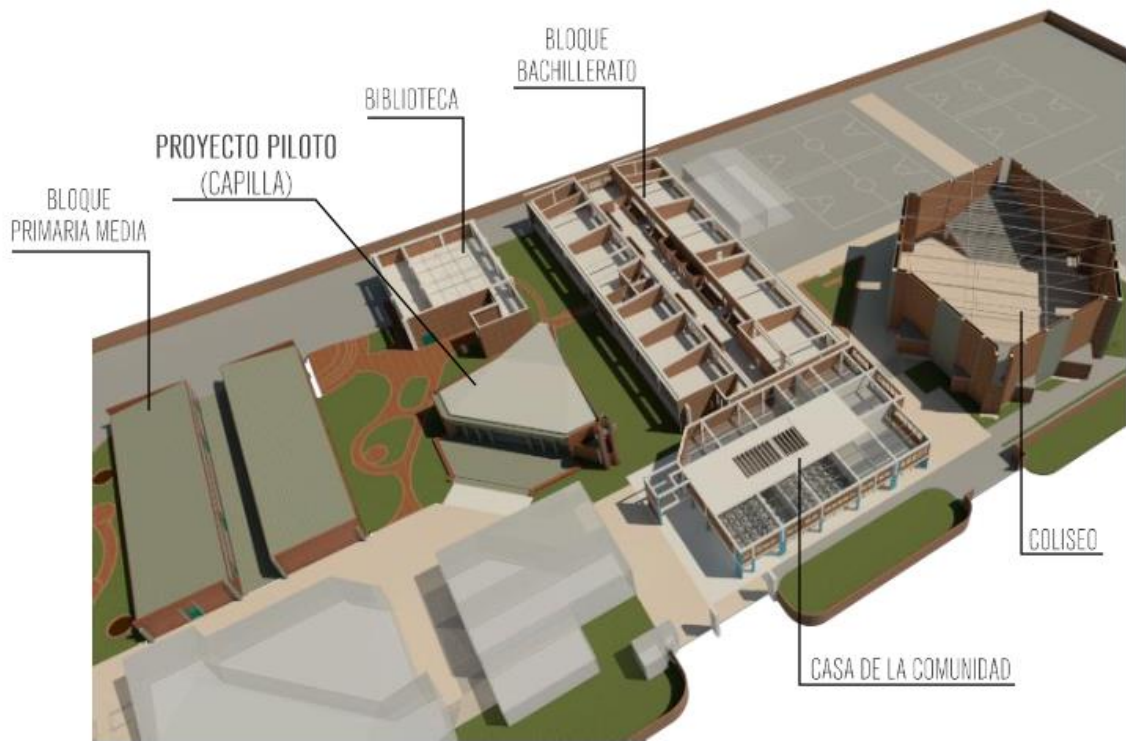
Los resultados, con cierre en la semana 12 de ejecución, muestran una desviación del costo negativa con índice de rendimiento de 0,88 lo que representa un costo por encima del previsto, la desviación del programa también es negativa con un índice de eficiencia de 0,94 que traduce una producción por debajo de la planeada.

Estos problemas de rendimiento en obra se deben principalmente a la alta rotación de personal y sub asignación de recursos de mano de obra, pues por una parte el cronograma se planteó con una mayor cantidad de personas trabajando respecto a las que realmente estaban en la obra y por otra la rotación de personal impedía que se aprovechara la curva de aprendizaje de las cuadrillas generando retrasos generales en las actividades y acumulación de materiales en stock, tal acumulación llevó a que el costo controlado en obra fuese mayor a pesar de la baja producción.

5.3. SECUELA DEL PROYECTO PILOTO

A partir de la implementación del proyecto piloto, todos los nuevos proyectos se han gestionado con la misma metodología y flujo de trabajo. La articulación de BIM en todo el proceso de consultoría ha sido exitosa y actualmente no sólo se trabaja en las estructuras independientes sino en todo un modelo articulado que permite analizar la forma en que se integran los espacios y abre la puerta para nuevos contratos no solo de reforzamientos estructurales sino de remodelaciones arquitectónicas.

Ilustración 45. Modelo articulado del colegio con proyecto piloto y demás bloques gestionados con BIM.



6. CONCLUSIONES

Se logró implementar de forma exitosa BIM en proyectos de reforzamiento estructural y dada la eficiencia de la mecánica de trabajo se consolidó como nuevo estándar para la gestión de proyectos de la misma naturaleza dentro de la empresa.

BIM mejora la interacción de los clientes con los proyectos y brinda una herramienta para que los equipos de consultoría puedan comunicar de forma eficiente sus propuestas.

Es posible realizar análisis estructural, lumínico y extraer información explícita para planificación y control de obra a partir del modelo articulado (Estructural – Arquitectónico) prescindiendo de software adicional.

El uso de tecnología BIM en el proceso de consultoría redujo los tiempos de diseño para el proyecto piloto en un 40,91% comparado con un proyecto de características similares.

Haciendo control del proyecto a través de la gestión del valor ganado con corte a la semana 12, se encontró un índice de rendimiento del costo de 0.88 y un índice de rendimiento de producción de 0.94 lo que muestra que aunque se obtuvo una buena aproximación a los costos, existen variables asociadas a la ejecución del proyecto que afectan la producción negativamente y son independientes de la planificación.

BIBLIOGRAFÍA

ANBARI, Frank T. Earned value project management: Methods and extensions. *Project Management Journal* [online] Dec, 2003, Vol 34 N° 4 [cited: 2 Nov. 2015] Available from: http://www.marcoullis.com/PROJECTS/ANBARI/pdf/selected/Anbari_Research_EVM_Anbari_PMJ.pdf

THE ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS OF AMERICA. *The contractors' guide to BIM. 1ed.* Arlington, VA, E.U. The Associated General Contractors of America, 2011.

FLEMING, Quentin W. and KOPPELMAN, Joel M. Earned value project management. A Powerful Tool for Software Projects. *CROSSTALK The Journal of Defense Software Engineering* [online] July, 1998. [Cited: 12 Oct. 2015] p. 19-23. Available from Internet: <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/702523/9173170/1288308420137/199807Fleming.pdf?token=Ay0VNXYPKmi57D8ETnAU1xV%2BIMQ%3D>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Lighting of work places. ISO 8995-1. Geneve: ISO, 2002.

PONZ, Jose; PELLIECER, Eugenio and YEPES, Víctor. (2012). Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects. *Journal of Zhejiang University - SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)* [online] Dec, 2011, Vol 13 N° 1 [cited: 16 Nov. 2015] Available from: <http://link.springer.com/article/10.1631/jzus.A1100160#/page-1>

PORRAS, Hernán; SANCHEZ, Omar; GALVIS, José; JAIMEZ, Néstor and Castañeda, Karen. (2015). Tecnologías “Building Information Modeling” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Revista Entramado*, [online] Jan, 2014, Vol 11 N° 1 [cited: 1 Dic. 2015] Available from: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>