

**Propuesta de Estrategia Educativa Fundamentada en el Aprendizaje Basado  
en Problemas y la Metodología BIM para el Análisis de Rendimientos de  
Encofrados**

Laura Daniela Gámez González

Id. 000242034

Andrés Felipe Ojeda Blanco

Id. 000244929

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

**Propuesta de Estrategia Educativa Fundamentada en el Aprendizaje Basado  
en Problemas y la Metodología BIM para el Análisis de Rendimientos de  
Encofrados**

Laura Daniela Gámez González

Id. 000242034

Andrés Felipe Ojeda Blanco

Id. 000244929

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**INGENIERO/A CIVIL**

Director del Proyecto

Leonardo Barón Páez

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

## **Dedicatoria**

*A mis padres y mis hermanas por su apoyo incondicional pero principalmente por creer en mí desde siempre, a mi querido amigo y compañero de proyecto porque juntos hicimos de esto una realidad. Por ultimo a todas aquellas personas apasionadas por la ingeniería civil, que se esfuerzan por innovar con las herramientas que tienen a su alcance.*

**Laura Daniela Gámez González**

*Al futuro de Colombia, sus ingenieros, a mis padres y hermana por su apoyo en mi formación profesional, a mi compañera de trabajo de grado por que junto a ella hicimos esto posible.*

**Andrés Felipe Ojeda Blanco.**

## **Agradecimientos**

Gracias a Dios por guiar nuestro camino y decisiones, damos infinitas gracias porque sin Él no habríamos llegado a este punto de nuestras vidas, donde uno de nuestros sueños se hace realidad y al mismo tiempo contribuimos al futuro de nuestro país.

Al ingeniero Leonardo Barón Páez por creer en nuestra propuesta, apoyarnos y motivarnos durante el desarrollo de este proyecto.

A Construsoft, en especial a su Directora en Colombia Lucia Ochoa y el ingeniero Juan Felipe Díaz, por todo el apoyo y aprendizaje brindado.

Al Ingeniero John Javier Morales por su compromiso con la formación de mejores ingenieros, por motivarnos a explorar las bondades de BIM y por su apoyo.

A nuestros padres y hermanas, por ser una gran motivación para cumplir nuestras metas y además por ser un gran apoyo en todo este proceso.

A todos los docentes, funcionarios administrativos y demás personal de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, que de una manera u otra han aportado a nuestra formación profesional y a la realización de este proyecto.

## Tabla de Contenido

1. JUSTIFICACIÓN .....	15
2. OBJETIVOS .....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	21
3. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL .....	23
3.1 ENCOFRADOS .....	23
3.1.1 Sistemas de Encofrados .....	24
3.1.2 Sistemas de Desencofrado .....	24
3.1.3 Encofrado Metálico.....	25
3.1.4 Armado de Encofrados .....	25
3.2 BUILDING INFORMATION MANAGEMENT (BIM) .....	26
3.2.1 Cambios en la Industria .....	27
3.2.2 Visualización 3D.....	27
3.2.3 Modelación 4D.....	27
3.2.4 Coordinación en Campo con BIM .....	28
3.2.5 Educación BIM .....	29
3.2.6 Software para modulación de formaleta .....	29
3.2.6.1 Tekla Structures .....	29
3.2.6.2 FOR CAD® .....	30
3.2.6.3 PERI CAD .....	30
3.2.6.4 Allplan Engineering Building.....	30
3.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS .....	31
3.3.1 Concepto y Características.....	31
3.3.2 Proceso de Aprendizaje.....	31
3.3.3 El Rol del Estudiante y el Profesor .....	32
3.3.4 Uso de problemas en el ABP .....	33
4. METODOLOGIA.....	35
4.1 EXPLORACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SOFTWARE .....	35
4.2 SELECCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.....	35
4.2.1 Reconocimiento de los elementos de formaleta que se usan en la construcción de la edificación. ....	36

4.3	CREACIÓN DE LAS COMPONENTES DE ELEMENTOS DE FORMAleta EN TEKLA STRUCTURES .....	36
4.4	CREACIÓN DEL MODELO BIM 3D .....	37
4.5	MODELACIÓN 4D .....	37
4.6	ELABORACION DE VIDEOS INSTRUCTIVOS .....	38
4.7	ELABORACIÓN DE PROBLEMAS PARA USO EDUCATIVO POR MEDIO DEL ABP. 38	
5.	DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PROPUESTA.....	40
5.1	EXPLORACIÓN DE LA PLATAFORMA TEKLA STRUCTURES .....	40
5.2	SELECCIÓN DE LA EDIFICACION.....	42
5.2.1	Identificación de elementos de formaleta útiles para el proyecto.....	44
5.3	CREACIÓN DE COMPONENTES DE FORMAleta EN TEKLA STRUCTURES	48
5.3.1	Configuración de Formworkpanel en Tekla Structures .....	64
5.3.2	Configuración de Formworkcondition en Tekla Structures.....	69
5.4	CREACION DE MODELO BIM 3D.....	76
5.4.1	Procedimiento para modulación de formaleta en Tekla Structures .....	77
5.4.2	Colocación de formaleta en muros de concreto con Tekla Structures .....	78
5.4.3	Colocación de formaleta en placa de concreto con Tekla Structures .....	80
5.4.4	Apuntalamiento en placa de concreto .....	82
5.5	CUANTIFICACIÓN DE LA FORMAleta.....	82
5.5.1	Cuantificación Sección A .....	85
5.5.2	Cuantificación Sección B.....	91
5.5.3	Cuantificación Sección C.....	96
5.5.4	Cuantificación Total.....	101
5.6	MODELO 4D.....	111
5.6.1	Programación de actividades en Tekla Structures .....	112
5.6.2	Configuración de Grupos de Objetos.....	125
5.6.2.1	Grupo FORMAleta VISIBLE .....	125
5.6.2.2	Grupo FORMAleta NO VISIBLE .....	126
5.6.2.3	Grupo CONCRETO VISIBLE .....	128
5.6.2.4	Grupo CONCRETO NO VISIBLE .....	128
5.6.3	Configuración del Grupo de Representación .....	129
5.6.4	Configuración de la visualización 4D.....	131
5.6.5	Simulación 4D .....	132
5.7	VIDEOS TUTORIALES.....	135

5.8	PROBLEMAS ABP .....	138
6.	CONCLUSIONES.....	144
7.	RECOMENDACIONES .....	148
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	150

## Lista de Tablas

Tabla 1. Inventario de Formaleta Metálica UPB .....	45
Tabla 2. Inventario de Componentes Tableros Metálicos .....	50
Tabla 3. Visualización Componentes de Tableros Metálicos en Tekla Structures.....	52
Tabla 4. Inventario de Componentes Rinconeras .....	57
Tabla 5. Visualización Componentes de Rinconeras en Tekla Structures.....	58
Tabla 6. Inventario de Componentes Ángulos.....	60
Tabla 7. Visualización Componentes de Ángulos en Tekla Structures .....	60
Tabla 8. Inventario de Componentes Tapamuros .....	62
Tabla 9. Visualización Componentes de Tapamuros en Tekla Structures.....	62
Tabla 10. Inventario de Componentes Apuntalamiento .....	64
Tabla 11. Visualización Componentes de Apuntalamiento en Tekla Structures.....	64
Tabla 12. Cuantificación Tableros Metálicos Sección A.....	86
Tabla 13. Cuantificación de Rinconeras Sección A.....	88
Tabla 14. Cuantificación de elementos Apuntalamiento Sección A.....	89
Tabla 15. Cuantificación Tapamuros Sección A .....	90
Tabla 16. Cuantificación Ángulos Sección A.....	90
Tabla 17. Cuantificación Tableros Metálicos Sección B.....	91
Tabla 18. Cuantificación Rinconeras Sección B.....	94
Tabla 19. Cuantificación elementos de Apuntalamiento Sección B.....	94
Tabla 20. Cuantificación Tapamuros Sección B.....	95
Tabla 21. Cuantificación Ángulos Sección B .....	95
Tabla 22. Cuantificación Tableros Metálicos Sección C.....	96
Tabla 23. Cuantificación Rinconeras Sección C.....	99
Tabla 24. Cuantificación elementos de Apuntalamiento Sección C.....	99
Tabla 25. Cuantificación Tapamuros Sección C.....	100
Tabla 26. Cuantificación Ángulos Sección C.....	100

Tabla 27. Cuantificación Total de Tableros Metálicos .....	101
Tabla 28. Cuantificación Total Área de Formaleta.....	103
Tabla 29. Cuantificación Total Rinconeras .....	108
Tabla 30. Cuantificación Total Elementos de Apuntalamiento .....	110
Tabla 31. Cuantificación Total Tapamuros .....	110
Tabla 32. Cuantificación Total Ángulos.....	111
Tabla 33. Rendimientos por cuadrillas .....	119
Tabla 34. Estimación de mano de obra.....	119
Tabla 35. Simulación 4D Primer Piso.....	132
Tabla 36. Listado Tableros Metálicos para Construcción de Muros .....	140
Tabla 37. Listado de Rinconeras para Construcción de Muro.....	142

## Lista de Imágenes

Imagen 1. Primer ejercicio en Tekla Structures.....	41
Imagen 2. Segundo Ejercicio en Tekla Structures .....	42
Imagen 3. Plano en planta de la Edificación.....	43
Imagen 4. Muros en 3D a partir de planos en 2D .....	44
Imagen 5. Componente: Tablero Metálico .....	48
Imagen 6. Componente Rinconera.....	49
Imagen 7. Catálogo de componentes en Tekla Structures .....	49
Imagen 8. Icono de FormworkPanel.....	65
Imagen 9. Configuración del archivo de Excel METALEX.FormworkTools.Panels.csv .....	66
Imagen 10. Menú Formwork Placing Tools – Walls (Muros).....	68
Imagen 11. Ubicación de Tableros Metálicos en Muro.....	69
Imagen 12. Icono de FormworkCondition en Tekla Structures.....	69
Imagen 13. Herramientas para Ensamblajes.....	71
Imagen 14. Ensamblajes creados para uniones de muros.....	72
Imagen 15. Configuración archivo de Excel METALEX.FormworkTools.Conditions.csv.....	73
Imagen 16. Unión de muro en T.....	74
Imagen 17. Unión de muro en L.....	74
Imagen 18. Menú Formwork Placing Tools - Condition Placing (Uniones).....	75
Imagen 19. Ubicación de unión en L en muro.....	75
Imagen 20. Modelación 3D del primer piso de la edificación.....	76
Imagen 21. Colocación de tableros en muros.....	79
Imagen 22. Formaleta de muros en Tekla Structures .....	79
Imagen 23. Modelación de formaleta en Tekla Structures .....	80
Imagen 24. Colocación de formaleta de placa.....	81
Imagen 25. Formaleta del primer piso en Tekla Structures .....	81
Imagen 26. Apuntalamiento de Placa. ....	82

Imagen 27. Selección de elementos Sección C.....	83
Imagen 28. Informe id_partes .....	84
Imagen 29. Impresión de Informe.....	84
Imagen 30. División de Secciones para cuantificación .....	85
Imagen 31. Informe de partes Sección A.....	86
Imagen 32. Informe Parte Sección B .....	91
Imagen 33. Informe Partes Sección C.....	96
Imagen 34. División por secciones para la programación .....	112
Imagen 35. Grupo de tareas para la programación .....	116
Imagen 36. Selección de elementos sección A del cuarto piso.....	117
Imagen 37. Objetos añadidos a las tareas .....	117
Imagen 38. Rendimientos de formaleta .....	118
Imagen 39. Tareas con duraciones planificadas .....	120
Imagen 40. Tareas con dependencias.....	121
Imagen 41. Modo de planificación de tareas .....	121
Imagen 42. Tipos de tareas para la programación .....	123
Imagen 43. Calculo de fechas de planificación para objetos .....	124
Imagen 44. Grupo Formaleta Visible.....	126
Imagen 45. Grupo Formaleta No Visible.....	127
Imagen 46. Grupo CONCRETO VISIBLE .....	128
Imagen 47. Grupo CONCRETO NO VISIBLE.....	129
Imagen 48. Grupo de Representación "GRUPO 4D" .....	130
Imagen 49. Configuración Visualización Estado Proyecto .....	131

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** Propuesta de Estrategia Educativa Fundamentada en el Aprendizaje Basado en Problemas y la Metodología BIM para el Análisis de Rendimientos de Encofrados

**AUTOR(ES):** Laura Daniela Gámez González  
Andrés Felipe Ojeda Blanco

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Leonardo Barón Páez

**RESUMEN**

Las herramientas que la ingeniería civil ofrece actualmente, permiten alcanzar una mejor calidad en la elaboración de los diseños de un proyecto; la metodología BIM y su aplicación en el software de dibujo es una de ellas. Por lo anterior, se plantea en la presente investigación una propuesta de estrategia educativa fundamentada en el aprendizaje basado en problemas (ABP) para fomentar el estudio de la metodología BIM en proyectos de construcción, a través de la creación de un modelo 4D para analizar rendimientos de actividades relacionadas con formaleta. El uso del software Tekla Structures posibilitó la elaboración del modelo 4D que incluye la visualización 3D de los muros y placas en concreto de una edificación de cinco pisos, a los cuales se asignaron tableros de formaleta, cerchas y parales que garantizan su estabilidad, dichos elementos están enlazados a la programación de cada una de las tareas relacionadas con el sistema encofrado, lo cual favoreció la extracción de informes para la cuantificación de sus elementos y la configuración de la simulación 4D del proceso constructivo. Para la realización de este trabajo de grado primero fue necesario adquirir conocimientos básicos sobre el uso del software, de manera que se pudiera modular la formaleta del edificio usando los diseños de la marca Metalex (disponible en el laboratorio de construcciones de la facultad). En segunda instancia, el proceso fue plasmado en videos tutoriales con el objetivo de ser utilizados con estrategia educativa para que los estudiantes puedan acceder a ellos durante su proceso de aprendizaje, el cual se propone que sea a partir de las situaciones problemáticas aquí planteadas, que han sido creadas teniendo como fundamento el ABP y así dejar una propuesta académica de enseñanza aprendizaje para ser utilizada en un plan de estudios de ingeniería civil.

**PALABRAS CLAVE:**

BIM, Formaleta, Tekla Structures, Programación, Modelación 4D, ABP.

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** Proposal for a Fundamental Educational Strategy in Problem-Based Learning and the BIM Methodology for the Performance Analysis of Formworks.

**AUTHOR(S):** Laura Daniela Gámez González  
Andrés Felipe Ojeda Blanco

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Leonardo Barón Páez

**ABSTRACT**

The tools that the civil engineering currently offers, allow to reach a better quality in the elaboration of the designs of a project; BIM methodology and its application in drawing software is one of them. Due to the above, a proposal of educational strategy based on problem-based learning (PBL) is proposed in the present investigation to encourage the study of the BIM methodology in construction projects, through the creation of a 4D model to analyze performance of activities related to formwork. The use of the Tekla Structures software enabled the development of the 4D model that includes the 3D visualization of the walls and plates in particular of a five-story building, to which were assigned formwork boards, trusses and parales that guarantee their stability, said elements they are linked to the programming of each of the tasks related to the formwork system, which favored the extraction of reports for the quantification of their elements and the configuration of the 4D simulation of the construction process. In order to carry out this first degree work, it was necessary to acquire basic knowledge about the use of the software, so that the shape of the building could be modulated using the designs of the Metalex brand (available in the faculty's construction laboratory). In the second instance, the process was embodied in tutorial videos with the aim of being used with an educational strategy so that students can access them during their learning process, which is proposed to be based on the problematic situations presented here, which they have been created based on the ABP and thus leave an academic proposal for teaching and learning to be used in a civil engineering curriculum.

**KEYWORDS:**

BIM, Formwork, Tekla Structures, Programming, 4D Modeling, PBL.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. JUSTIFICACIÓN

Los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) aprenden a estimar costos y a programar actividades de obra mediante el uso de planos en 2D y en algunas ocasiones que no obedecen al carácter general; utilizan modelos en 3D para simular proyectos de construcción. Este tipo de visualización (2D) limita la habilidad de los estudiantes para comprender el impacto de los diseños y la toma de decisiones en los proyectos. Es por esto que, en el ejercicio profesional los estudiantes enfrentan grandes desafíos, debido a que es necesario que desarrollen mentalmente modelos en 3D a partir de la visualización 2D de diferentes elementos de un proyecto, esta interpretación depende de la experiencia educativa y practica previa del profesional [1].

La ingeniería de construcción es una ciencia con un componente visual importante, lo que obliga a los estudiantes a desarrollar una habilidad avanzada para visualizar espacios y objetos complejos empleados en diferentes actividades de obra [2]. Por ejemplo, los elementos de formaleta usados en los distintos procesos constructivos son difíciles de visualizar si no se ha tenido la oportunidad de observarlos alguna vez. La elaboración, preparación y disposición de la formaleta es una de las tareas más complejas en la construcción, ya que influye de manera directa en la forma del edificio, es decir, las características físicas de sus elementos estructurales, razón por la cual los dibujos de los sistemas de formaleta y su disposición se deben realizar con la mayor precisión posible, de igual forma su revisión se debe hacer de forma detallada para evitar problemas de sobrecostos en el proyecto [3]. En ese orden de ideas, se evidencian grandes

desventajas en el uso de herramientas de dibujo 2D en comparación con las herramientas BIM, principalmente porque el software 2D no permite incorporar todas las características del sitio como la forma del edificio, su altura, la alineación de los sistemas de formaleta y la secuencia de construcción de la misma, que son los factores que si no se controlan adecuadamente pueden ser perjudiciales para todo el proyecto [3]. En cuanto al tema de costos para formaleta, se presentan dificultades relacionadas con la cuantificación de los elementos, ya que no se realiza un análisis detallado de las cantidades de formaleta por unidad de construcción y eso causa problemas en el presupuesto porque se estiman los costos para ciertas cantidades, pero en obra se usan otras diferentes. La dificultad que existe se presenta por la inadecuada forma de calcular cantidades [4].

Retomando el tema de las herramientas BIM, es importante ser consciente de la gran trascendencia que ha venido adquiriendo la metodología BIM no solo en la industria de la construcción sino también en la educación superior. La enseñanza de la metodología BIM, se viene realizando a nivel mundial desde hace tiempo. En Latinoamérica su enseñanza está aún en inicio. Sin embargo, en algunas universidades europeas promueven programas de posgrado que incluyen la gestión y administración de proyectos con metodología BIM (Master BIM). El mercado norteamericano ofrece también una amplia oferta de cursos, formando y certificando expertos en proyectos BIM [5]. La universidad de Colorado, por ejemplo, propuso la implementación de un curso BIM enfocado en el uso de software y también incluyó módulos de enseñanza BIM en las diferentes materias del currículo para tratar de entender y acomodarse al inminente cambio en la industria. El principal objetivo de dichos módulos es mejorar la eficacia de la comunicación educativa a través de técnicas interactivas de enseñanza visual que permitan aclarar conceptos fundamentales, promoviendo en los estudiantes el desarrollo de nuevos métodos de trabajo [6].

Igualmente, la Universidad Europea de Madrid (UEM) implementó un programa piloto utilizando la metodología BIM, los resultados obtenidos hasta el momento han mostrado avances en el aprendizaje en los distintos niveles, dichos avances se reflejan en mejoras en la comprensión de los proyectos como diseños integrados e igualmente en la gestión de los procesos que hacen parte de los mismos [7]. Es importante resaltar que el desarrollo de este programa empleó un formato de docencia basado en la filosofía PBL (Project Based Learning) aprendizaje basado en proyectos, que es una variante de la metodología de aprendizaje basado en problemas (ABP).

A propósito de esto último, cabe mencionar que cuatro estudiantes de ingeniería civil de la UPB han realizado investigaciones relacionadas con el uso de metodologías BIM y la estrategia de enseñanza de aprendizaje basado en problemas enfocadas en el área de programación y presupuestos, lo que resulta muy interesante es que hay cursos en los que se promueve el uso de software relacionado con BIM, no hay muchos cursos que empleen el modelo ABP como estrategia de enseñanza, de modo que llama la atención que se haga este tipo de propuestas por parte de los estudiantes. Dicho lo anterior, es necesario conocer la temática de dichas investigaciones de forma un poco más amplia. Concretamente el primer proyecto de investigación titulado *“Modelo digital 4D como apoyo a la programación de actividades de cimentación y estructura en proyectos de vivienda multifamiliar”* tiene que ver con el desarrollo de una guía metodológica para la aplicación de BIM mediante la creación de un modelo digital 4D en actividades de cimentación y estructura, llegando a la conclusión de que la aplicación de estas herramientas soporta apropiadamente tanto estudios académicos como profesionales, ya que permiten identificar factores determinantes del proyecto que pueden causar conflictos con los costos, la programación y calidad de los proyectos, de manera que su implementación en cursos de pregrado y posgrado es razonable [8]. El segundo

proyecto, titulado “*Propuesta de un aplicativo en Excel como apoyo a la estrategia didáctica de aprendizaje basado en problemas en la asignatura de presupuestos y programación de obras*”, se concentra en la aplicación de la metodología ABP en la enseñanza de programación y presupuesto de obra mediante un programa en Excel, con la conclusión de que los estudiantes mostraron una buena asimilación del proceso y pudieron realizar el problema con el grado de dificultad que se exigía, lo que muestra que esta metodología no es compleja y que se puede usar como metodología de aprendizaje [9].

Para ilustrar mejor el uso de la metodología de aprendizaje basado en problemas, se debe partir del hecho de que esta ha sido implementada en el campo de la medicina desde 1960 y actualmente es ampliamente usada en ese campo. En cuanto a la ingeniería civil esta filosofía ha sido empleada a lo largo de los años en algunas universidades, como es el caso de la Universidad de Monash, en Australia, donde el aprendizaje basado en problemas ha sido incluido en varios cursos en el grado de ingeniería civil, en todos estos casos la implementación ha sido impartida en cursos individuales dentro de un programa de ingeniería tradicional, , a veces en una serie de cursos pero esto depende del interés y el entusiasmo de un grupo pequeño de la facultad. De manera que para que el aprendizaje basado en problemas se introduzca en un grado típico de ingeniería, requeriría interés, cooperación e integración de profesores de por lo menos las divisiones de ingeniería, matemáticas, ciencia, negocios y administración de una institución [10].

Otro caso de aplicación de la metodología ABP es el programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Limerick en Irlanda. La implementación se hace en cursos como geología, mecánica de suelos, hidrología y acero estructural. La experiencia en general ha sido energizante

y muy gratificante. La retroalimentación de los estudiantes es también en su mayor parte extremadamente positiva con respecto a la experiencia de ABP. El director del curso, el Dr. Declan Phillips, que tiene la experiencia más larga de la enseñanza, informa: "*En quince años enseñando en tercer nivel, nunca he encontrado preguntas consideradas y tan exploratorias como las recibidas en el proyecto de defensa contra inundaciones geotécnicas. Por primera vez sentí que había comprometido a los estudiantes en la mecánica de los suelos presentando un problema que los estudiantes podían verse enfrentándose en sus vidas profesionales. Algunos grupos superaron mis expectativas con la profundidad y el rigor de su trabajo. Además, diría que la clase entera ahora sabe y entiende más acerca de la mecánica del suelo y su importante papel en la construcción de lo que lo haría, si hubiera entregado el módulo didácticamente como lo he hecho durante los últimos cuatro años*" [11].

En resumidas cuentas, el mundo está adoptando herramientas BIM para diferentes usos, por medio de la modelación 3D se brinda una mejor visualización y comprensión a detalle de aquello que se quiere ilustrar, por lo tanto, puede ser de gran ayuda para encontrar información que no es tan fácil de visualizar en una modelación en 2D. En un proyecto de construcción se presentan inconvenientes al momento de programar y presupuestar una actividad, puesto que se hace necesario obtener información que a simple vista no es fácil de detectar. Una gran solución a este problema es implementar las herramientas de modelación para encontrar una solución de manera anticipada a los inconvenientes que se puedan presentar en la ejecución de un proyecto de construcción, el uso de herramientas BIM hace posible obtener una visión integral del proyecto puesto que existe la opción de definir una mejor programación que desglose todas las actividades necesarias para la ejecución de un proyecto, detectando así las actividades que muchas veces no

se tienen en cuenta o no se prevén y que atrasan las etapas de un proyecto e igualmente generan incremento en su costo. De ahí que la implementación de metodologías BIM como una estrategia de aprendizaje que brinde mejores condiciones para comprender el problema y después dar una solución más detallada que evite futuros inconvenientes, es una excelente alternativa de solución para el tema de formaleta en actividades de construcción. Como se ha mencionado anteriormente un proyecto de construcción está compuesto por una amplia variedad actividades, unas más complejas que otras, y muchas veces el papel que juega la formaleta en el desarrollo de estas no es tomado con la importancia que merece en la etapa de planeación.

Este proyecto de grado está enfocado en buscar una solución a los problemas de cuantificación de insumos de formaleta para actividades de construcción de muros y placas en concreto, de manera que se pueda hacer un análisis de los rendimientos de la formaleta con ayuda de la modelación BIM utilizando el software Tekla Structures. Adicionalmente tiene un alcance educativo, razón por la cual se pretende crear una serie de problemas que le permitan a un estudiante de ingeniería civil comprender diferentes situaciones para saber darles una solución eficiente. Para lograr estos objetivos se crearán modelos 3D de los elementos de formaleta Metalex estándar para muros y placas en concreto, se usará la formaleta Metalex porque es la marca empleada por la facultad de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana disponible en el laboratorio de Construcciones. Seguidamente se creará un modelo 3D y 4D del edificio con la formaleta de los muros y placas, para ello se usará el software Tekla Structures, gracias a que se cuenta con el apoyo de la empresa Tekla. Finalmente, se va a elaborar una serie de videos tutoriales con los pasos para la modulación de formaleta en Tekla Structures, para que sirva de apoyo a los estudiantes en el estudio de los problemas relacionados con formaleta.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una estrategia educativa fundamentada en el aprendizaje basado en problemas y la aplicación de metodologías BIM, para la modulación de formaleta para muros y placas en concreto, con el fin de obtener datos de cuantificación y rendimientos de los diferentes elementos de formaleta en la etapa de planeación de un proyecto de construcción.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Crear componentes paramétricos de elementos de formaleta marca Metalex para actividades de construcción de muros y placas en concreto con el software Tekla Structures, para posteriormente modular formaleta y así obtener un informe de cantidades.
- Crear un modelo 3D de un edificio con los elementos de formaleta para los muros y placas del mismo, con el software Tekla Structures.
- Crear un modelo 4D con el software Tekla Structures, que permita determinar rendimientos de los diferentes elementos utilizados.
- Elaborar una lista de videos tutoriales con los pasos a seguir para realizar la modulación de formaleta en software Tekla Structures, con el propósito de que sea útil para investigaciones posteriores o su aplicación en clases de construcciones, programación y

presupuestos de obra, e igualmente otras del área económico-administrativa y de construcción.

- Plantear situaciones problemáticas reales relacionadas con el uso, estimación de cantidades y rendimientos de formaleta en actividades de construcción de muros y placas en concreto, siguiendo los lineamientos de la metodología de aprendizaje basado en problemas. Estas situaciones promoverán el uso de la metodología BIM y el software Tekla Structures como herramientas principales de solución.

### **3. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL**

#### **3.1 ENCOFRADOS**

El encofrado o formaleta se define como una estructura temporal cuyo propósito es proporcionar apoyo y contención para el concreto fresco hasta que pueda sostenerse, de manera que el concreto se moldea a la forma deseada y el tamaño, controlando su posición y alineación. Las formas de encofrado son estructuras de ingeniería que se requieren para soportar cargas tales como concreto fresco, materiales de construcción, equipo, trabajadores, varios impactos y a veces cargas de viento. Las formas deben soportar todas las cargas aplicadas sin colapso o deflexión excesiva [12].

El encofrado es uno de los sistemas más afectivos para la construcción de estructuras en concreto, también es muy reconocido por las ventajas que este aporta a un proyecto en términos de rendimientos y costos, en la actualidad hay diferentes materiales para la fabricación de encofrados como lo son el metal, madera y plástico. El material en que se elija para fabricar la formaleta dependerá del uso que se le quiera dar, ya que según este se podrá estimar la durabilidad y cantidad de veces que se pueda reutilizar la misma. Otra de las grandes ventajas es que estos elementos garantizan el correcto posicionamiento del elemento que se quiere encofrar y además brinda una garantía para unas óptimas condiciones en el proceso de curado [13].

Es importante tener claridad con respecto a lo anterior porque así, se tendrán criterios de aceptación a la hora de reconocer los elementos de encofrado como útiles para la ejecución del

proyecto. De igual forma, es necesario comprender la información que se presenta a continuación, relacionada con los sistemas de encofrado, el proceso de montaje de los mismos y el desencofrado, puesto que permitirá adquirir conocimientos sobre los beneficios que mínimamente debe proporcionar el uso de elementos de encofrado para el desarrollo de proyectos constructivos.

### 3.1.1 Sistemas de Encofrados

Existen dos sistemas de encofrado, en primer lugar y más conocido por la facilidad que brinda en la construcción para su posicionamiento y transporte es el sistema mano portable, este no requiere mano de obra especializada y permite su colocación en cualquier lugar sin importar la topografía, sus piezas son de un menor tamaño y peso, brindando con facilidad el traslado de un sitio a otro con las manos, como también aportan más flexibilidad a la hora de modelar elementos comunes en una edificación. Por otro lado, está el sistema tipo túnel, este sistema tiene la característica de utilizar elementos de formaleta más grandes, requiriendo el uso de grúas o equipos que faciliten su colocación, pero aun así son una excelente elección para construcciones donde se vean bastantes repeticiones [13].

### 3.1.2 Sistemas de Desencofrado

El desencofrado es el proceso de desarmar y retirar el encofrado una vez el concreto ha endurecido parcial o totalmente. Este dependerá del tiempo en que el concreto ya haya adquirido una resistencia que garantice un soporte en el que no se vea afectada la estructura, lo más común se ve en los concretos tipo industrializados donde se desencofra a las 10 horas posteriores a su

colocación pero aun así solo se desencofra cuando el concreto a adquirido un resistencia entre un 15 y 20% de su diseño, después del desencofrado es importante la hidratación del concreto durante el tiempo en que este adquiriera su resistencia máxima [13].

### 3.1.3 Encofrado Metálico

Los encofrados fabricados con este material brindan grandes ventajas para la construcción, entre estas encontramos su durabilidad, ya que estos elementos son construidos con acero y aluminio con las mejores condiciones de resistencia, permitiéndoles ser reutilizadas una gran cantidad de veces, también ofrecen flexibilidad para moldear cualquier tipo de elemento estructural debido a su tamaño y fácil posicionamiento, ya que las medidas en que se fabrican estos elementos de encofrado, están diseñadas para ser utilizadas la mayor cantidad de veces posible en el proyecto de construcción [14].

### 3.1.4 Armado de Encofrados

Para la unión de los diferentes elementos es importante saber la cantidad que se va a utilizar y el proceso de colocación que se va a seguir para un correcto armado, debido a esto se debe tener en cuenta los siguientes criterios [15].

- 1- Disposición de todos los elementos tales como: tableros, grapas, pines, tensores, alineadores, ángulos, etc.
- 2- Disposición de maquinaria y equipos.

- 3- Realizar en el suelo la mayor cantidad de acciones para el armado antes del montaje, esto evitara errores.
- 4- Montaje previo de instalaciones internas tales como: redes de gas, agua, eléctricas y alcantarillado.
- 5- Montaje previo de elementos estructurales tales como: mallas metálicas y refuerzos.

### **3.2 BUILDING INFORMATION MANAGEMENT (BIM)**

Building Information Modeling, BIM por sus siglas en inglés, o en español, el Modelado de Información de Construcción, es visto como una de las herramientas más eficientes y más seguras para la gestión de proyectos, desde sus inicios solo era utilizada por empresas especializadas en el tema, pero hoy en día es un campo muy atractivo para todos los interesados en el desarrollo de técnicas para mejorar las actividades presentes en el campo de la construcción, BIM es visto como una innovación que promete cambiar la perspectiva de la industria de la construcción y actividades similares [16, p. 1].

Es de gran importancia conocer y adaptarse a las nuevas herramientas que actualmente ofrecen solución y mayor eficiencia en proyectos de construcción, BIM tiene la capacidad de integrar varios aspectos de un proyecto en un solo lugar como por ejemplo, los diseños, presupuestos y programación de obra , permitiendo una mejor gestión de proyectos, es por esto que la inclusión de estos saberes tienen una alta importancia para impulsar el alcance de un profesional que tenga afines con la construcción.

### 3.2.1 Cambios en la Industria

El impacto que BIM hace en la industria, involucra a en su totalidad a todo el cuerpo que la compone, debido a que la gestión de la información va a ser de un volumen consolidado, por lo tanto, va a ser de mayor tamaño y de mayor análisis, los gerentes de proyectos se ven obligados a dejar la tradicional forma en que manejaban la información, donde solo se trataban detalles del proyecto como algo individual y no como algo integral. Esta innovadora gestión de proyectos propone una mayor planificación donde se tengan en cuenta hasta el más mínimo detalle con el fin de evitar errores en la ejecución, donde además uno de los objetivos principales es garantizar el éxito del proyecto y para esto se propone tener muy bien estructuradas las fases del proyecto antes de su ejecución [16, p. 48].

### 3.2.2 Visualización 3D

Para los diseñadores es un nuevo reto, debido a que la mayoría de los dibujos se hacen en 2D, pero llevarlos a una tercera dimensión les permite identificar a detalle las posiciones correctas entre elementos del diseño, evitando el conflicto o choques entre ellos, además de que los softwares de modelación en última tecnología tales como Revit, Tekla Structures y SketchUp, le permite al usuario tener un viaje en el interior del diseño donde puede percibir una mejor visualización de lo que se pretende ejecutar [16, pp. 104-105]

### 3.2.3 Modelación 4D

La planificación y programación de actividades no es un problema para las capacidades que ofrece BIM, la asignación de actividades, administración de recursos antes de la construcción y durante es clave principal para un correcto funcionamiento y cumplimiento con los tiempos

establecidos para su entrega, esta organización se debe ver de una manera armónica, donde todos los tiempos sean aprovechados de la manera más eficiente posible, la forma más común para estructurar esta secuencia de actividades es en un diagrama de Gantt, donde se ve de manera gráfica y ordenada la secuencia de actividades.

En un software BIM, se puede tener una simulación del orden en que se llevan a cabo las actividades, con ayuda de los dibujos, se puede establecer la posición de los elementos a lo largo del tiempo, además de que se podrán visualizar de manera más confiable todas las actividades permitiéndole a la programación garantizar a un mayor nivel la ejecución exitosa de todos los procesos, identificando los posibles conflictos en el modelado antes de llevarlo a cabo en la realidad [16, p. 105].

#### 3.2.4 Coordinación en Campo con BIM

La organización de un proyecto es muy importante para llegar a su culminación, con ayuda de las herramientas BIM se puede tener en cuenta aspectos como el posicionamiento de los materiales, los movimientos de maquinaria, aprovechamiento de espacios para la ejecución de actividades previas a montaje y coordinación de mano de obra. Cuando no se cuenta con el espacio suficiente para la disposición de materiales y equipos, como en proyectos urbanos, donde el espacio juega un papel crítico, es de gran importancia tener muy bien estructurada una logística de cómo se van a ejecutar todas las actividades, para esto las herramientas BIM pueden generar una simulación previa de todos los procesos constructivos proporcionando confianza en su exitosa culminación [17, pp. 194-195].

### 3.2.5 Educación BIM

Las instituciones dedicadas a la enseñanza de las ciencias afines a la ingeniería, arquitectura y administración de la construcción, se enfrentan a la capacitación de sus estudiantes con los retos que la industria impone actualmente, los softwares BIM en las escuelas funden grandes bases para el desempeño en el campo laboral, pero aun así es muy difícil implementar el conocimiento de todas las herramientas, aunque es de gran importancia adquirir un aprendizaje base sobre lo que BIM puede ofrecer, ya que los egresados van a poder integrarse con más facilidad a una oportunidad laboral relacionada con el tema que ya no es tan ajeno a la mayoría de la industria [17, pp. 349-350].

### 3.2.6 Software para modulación de formaleta

Existe una variedad de programas que permiten realizar la modulación y gestión de encofrados para proyectos de construcción. Entre ellos cabe mencionar los siguientes.

#### 3.2.6.1 Tekla Structures

El encofrado es una de las partes que más tiempo consume en la construcción con concreto, lo que hace que la buena planificación sea esencial. Con Tekla, se puede acelerar la planificación del encofrado al automatizar la cuantificación del material y la creación de dibujos. Los contratistas pueden ahorrar tiempo, prevenir errores y optimizar las operaciones de encofrado in situ gracias a la mejor visualización, coordinación y comunicación que posibilitan los modelos de encofrado [18].

### 3.2.6.2 FOR CAD®

FOR CAD® es un instrumento concebido para las empresas fabricantes de encofrados y desarrollado para hacer más fácil y eficaz la proyección para los diseñadores y los equipos de trabajo. FOR CAD no pone ningunas restricciones en la complejidad del diseño y se adapta a las necesidades de la comisión, alternando el dibujo 2D con el 3D y llegando al 4D para la gestión de las fases en el tiempo [19].

### 3.2.6.3 PERI CAD

PERI CAD es una herramienta profesional, perfecta para el usuario experimentado de CAD, en la fase de diseño. El software se usa para la planificación de encofrados y andamios desde simples plantas con sistemas estándar, hasta soluciones más complejas, para los proyectos y obras más complicados [20].

### 3.2.6.4 Allplan Engineering Building

Allplan Engineering Building es una herramienta BIM especialmente diseñada para optimizar los procesos de trabajo de estructuras en proyectos de edificación. El software le ayuda a reducir los tiempos de planificación y de construcción y a mantenerse dentro del presupuesto. El proyecto se realiza sobre la base de un modelo virtual, que permite generar planos de encofrado y armaduras con secciones, perspectivas y visualizaciones, además de mediciones y diagramas de flexión, de manera que simplifica y acelera la planificación y la ejecución de las obras, reduce las

fuentes de error y permite que todos los implicados en un proyecto alcancen una mayor comprensión de conjunto [21].

### **3.3 APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS**

#### **3.3.1 Concepto y Características**

El aprendizaje basado en problemas (ABP) se puede entender como una metodología de enseñanza didáctica donde los estudiantes se involucran activamente con su proceso de aprendizaje, a tal punto de que este se vuelve auto dirigido, porque son los estudiantes los que toman la iniciativa en la resolución de problemas, de manera que el profesor y el contenido no son los elementos primordiales, es decir que el aprendizaje está enfocado en el estudiante, desde un enfoque individual y colectivo, ya que se incentiva tanto el desarrollo de habilidades particulares de cada estudiante como el trabajo en equipo a través de grupos pequeños, donde los profesores ejercen el papel de guías durante todo el proceso, cuya fuente de aprendizaje son los problemas. Entonces, el ABP promueve no solamente el alcance de conocimientos si no también el desarrollo de actitudes y habilidades fundamentales para la solución de problemas [22, pp. 19-21].

#### **3.3.2 Proceso de Aprendizaje**

Una de los aspectos característicos del ABP es que el aprendizaje se produce a partir de la exposición de un problema que necesita ser resuelto y no a partir de la revisión de conceptos. Es así como el proceso inicia, con la presentación del problema, lo que lleva al estudiante a identificar necesidades de aprendizaje para encontrar la solución, una vez de se hace esta identificación se

procede a la búsqueda de información necesario para luego resolver el problema o por el contrario encontrarse con nuevos problemas, razón por la cual se puede convertir en un proceso cíclico. El proceso de aprendizaje debe ser guiado por el profesor para asegurar la comprensión e integración de los conceptos, igualmente se debe desarrollar en grupo y de manera autónoma [22, p. 22].

El proceso generalmente se desarrolla conforme a lo que se conoce como los siete pasos, que son:

1. Presentación del problema.
2. Aclaración de terminología.
3. Identificación de factores.
4. Generación de hipótesis.
5. Identificación de lagunas de conocimiento.
6. Facilitación del acceso a la información necesaria.
7. Resolución del problema o identificación de problemas nuevos. Aplicación del conocimiento a problemas.

### 3.3.3 El Rol del Estudiante y el Profesor

El ABP considera que el estudiante es capaz aprender por sí mismo sin necesidad de la presencia constante del profesor, o sea que el estudiante experimenta un aprendizaje auto dirigido, lo que, por supuesto implica un mayor esfuerzo, puesto que el proceso el trabajo individual es

fuerte, este se alterna con el trabajo grupal. Como se mencionó anteriormente, el estudiante empieza analizando el problema para así identificar los aspectos que hacen parte del mismo, luego se produce una discusión grupal para determinar la información que se tiene y la que se necesita para resolver el problema, una vez se haga esto se continua con el estudio independiente por parte del estudiante para posteriormente realizar una discusión grupal sobre la solución encontrada. Durante todo este proceso el alumno puede recurrir al profesor para ser orientado. El profesor por su parte aunque no tendrá un papel protagonista durante el proceso, es corresponsable del mismo, por lo que debe tener una participación activa, además de construir el problema. Dicha participación implica que el profesor piense la materia desde el punto de vista de quien tiene que aprenderla, es decir que el profesor tiene que saber cómo aprende el estudiante y por ello debe haber un trabajo de preparación importante donde se cuestione sobre las dificultades que se pueden presentar, el tipo de ayudas que pueden ser más útiles para que el estudiante aprenda de forma autónoma. El rol del profesor entonces es el de un tutor, un facilitador del aprendizaje, en lugar de un especialista que sabe explicar el tema [22, pp. 23-27].

#### 3.3.4 Uso de problemas en el ABP

Como se ha resaltado anteriormente, el ABP tiene como protagonista del proceso de aprendizaje al estudiante y los problemas reales son una herramienta importante en este proceso. Mediante la resolución de problemas típicos de la práctica profesional, el estudiante desarrollara estrategias que le permitirán afrontar las situaciones que se encontraran en el ámbito laboral. Para trabajar en un problema real, es necesario analizar cuales competencias profesionales se quieren conseguir, para luego crear un escenario real que motive al estudiante, por ejemplo, una foto, un

mapa, un plano, etc. Ese escenario es por lo tanto la forma en que el problema se le presenta al estudiante, es decir que será el punto de partida y la solución el punto de llegada. En conclusión, trabajar con problemas reales fomenta la generación procesos de diseño de estrategias de resolución por parte de los estudiantes [22, pp. 37-41].

Se ha demostrado que es una estrategia con muy buenos resultados en la formación profesional, por esta razón la idea de cambiar los métodos convencionales de educación no suena nada mal, de manera que aprender a aplicar la metodología en la construcción de saberes para la solución de problemas promueve un mayor análisis en el proceso formativo de los estudiantes, la información presentada anteriormente es básica para cumplir el objetivo previo, en caso de que se quiera ampliar conocimientos para la aplicación de esta estrategia educativa se recomienda indagar en fuentes confiables o profesionales con experiencia en el tema.

## **4. METODOLOGIA**

En esta sección se describe en general el paso a paso desarrollado para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación.

### **4.1 EXPLORACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SOFTWARE**

Con el propósito de alcanzar los objetivos planteados en el proyecto, es necesario adquirir habilidades en el manejo del software que se va a emplear, que en este caso es el programa Tekla Structures.

Durante este proceso se realizaron ejercicios prácticos relacionados con modelación estructural de edificios y modulación de formaleta. Luego de tener un nivel de manejo del programa adecuado se procedió a la realizar la modelación de elementos de formaleta de Metalex, para muros y placas en concreto.

### **4.2 SELECCIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN**

Una vez se alcanzó un nivel adecuado en el manejo del programa, producto de la realización de ejercicios para consolidar los conocimientos del software y el proceso a seguir, se seleccionó la edificación que sirvió para realizar la modulación de formaleta y la posterior programación de las

actividades. La edificación cuenta con un sistema estructural tipo industrial que contiene elementos estructurales tales como muros y placas en concreto.

#### 4.2.1 Reconocimiento de los elementos de formaleta que se usan en la construcción de la edificación.

En primer lugar, se deben identificar los tipos de muros y placas en concreto que componen el diseño estructural de la edificación. Seguidamente, se establece que elementos de formaleta son necesarios en el proceso de construcción de los diferentes elementos estructurales, para luego modelarlos en 3D en el programa. Para este proceso de identificación de formaleta se recurrió a los planos estructurales de la edificación, al inventario de elementos de formaleta Metalex con que cuenta la universidad y al catálogo de elementos de la empresa Metalex.

### **4.3 CREACIÓN DE LAS COMPONENTES DE ELEMENTOS DE FORMALETA EN TEKLA STRUCTURES**

Una vez se identifican los elementos de formaleta, se procede con la creación de las componentes en Tekla Structures, con el fin de crear un inventario en el software con el listado de elementos seleccionados anteriormente, de manera que se pueda realizar la modulación 3D del encofrado de muros y placas de concreto.

#### **4.4 CREACIÓN DEL MODELO BIM 3D**

La creación del modelo BIM 3D inicia con la creación de los muros y placas que componen la estructura de la edificación en la plataforma Tekla Structures, seguidamente se ubican los elementos de formaleta necesarios para la construcción de los muros y placas, para lo cual hay que configurar las herramientas que ofrece el programa para ello y que facilitan este procedimiento.

#### **4.5 MODELACIÓN 4D**

Consiste en la elaboración de la programación de las actividades que componen el proceso constructivo y la configuración de la visualización de las mismas mediante el programa Tekla Structures. Entre esas actividades están el armado del sistema de formaleta para los muros y placas de la edificación e igualmente el proceso de vaciado de concreto para los elementos. Los rendimientos que se usan en la programación están soportados en una investigación sobre rendimientos y consumo de mano de obra en actividades de construcción, realizada por el arquitecto constructor Luis Fernando Botero Botero. El artículo de investigación proporciona datos de rendimientos en el armado de formaleta, discriminando en oficiales y ayudantes. Como resultado se obtiene una simulación de las actividades que refleja la realidad de la ejecución del proceso constructivo, lo que facilita un mejor control en el desarrollo del proyecto ya que esta herramienta da la posibilidad de integrar a más de una persona con lo que suceda en el proyecto, por lo tanto, el programa permite que todos los implicados sepan que es lo más adecuado para la

actividad, que en este caso es referente a la formaleta utilizada en la construcción de muros y placas de concreto.

#### **4.6 ELABORACION DE VIDEOS INSTRUCTIVOS**

Con la finalización de la modelación 4D, se procedió a crear una serie de videos instructivos de corta duración que explican los pasos a seguir para la modelación de formaleta estándar marca Metalex para el encofrado de muros y placas en concreto, e igualmente los pasos para desarrollar la programación del proceso con la ayuda del software Tekla Structures. Los videos tienen una duración corta, entre 1 y 5 minutos, cuentan con un desarrollo donde se darán las indicaciones a seguir para alcanzar un objetivo específico.

#### **4.7 ELABORACIÓN DE PROBLEMAS PARA USO EDUCATIVO POR MEDIO DEL ABP.**

Después de haber adquirido los conocimientos necesarios para el uso de la herramienta informática Tekla Structures, se elaboraron problemas que plantean al estudiante situaciones en donde por su cuenta tenga que buscar una solución.

Se proponen problemas donde no se le dice al estudiante cuales son elementos específicos de formaleta, para lograr una reducción de tiempos en la actividad, por lo tanto, promueve el análisis del proceso de colocación de la formaleta, el tiempo que se tienen que dejar la formaleta

para un correcto fraguado de concreto, el tiempo que dure el desmonte de esta, tiempo de las actividades previas y posteriores para llevar a cabo las actividades principales.

Para cumplir el objetivo principal, que es buscar la solución al problema por cuenta propia del estudiante, la orientación del docente es de gran importancia como guía y asesor durante el proceso, entre otras actividades del docente se pueden mencionar, el manejo del software, con el fin de utilizarlo como herramienta en la solución a cualquier problema que se le presente relacionado con el encofrado de muros y placas en concreto.

Para la formulación de estos problemas se crearon dos situaciones problemáticas que contienen la información necesaria mas no completa, donde no se incluye un instructivo para solucionarlas, ya que se asume que el estudiante comprende los conocimientos base sobre el manejo del software para aplicarlos en cualquier problema que se le presente, en busca de dar respuesta a lo que se le pide, que es la estimación de cantidad de elementos requeridos para la actividad de encofrado, como también la programación de dicha actividad.

En el proceso que lleva el estudiante para encontrar la solución al problema, se le debe brindar una asesoría por parte del docente, pero el objetivo principal es que el estudiante encuentre la solución por cuenta propia, no es conveniente que el docente le diga todo lo que tiene que hacer, debido a que esto le impide desarrollar el proceso de aprendizaje que se está buscando en esta metodología.

## **5. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PROPUESTA**

En este apartado se registra en base a la metodología propuesta el proceso realizado para alcanzar los objetivos propuestos inicialmente.

### **5.1 EXPLORACIÓN DE LA PLATAFORMA TEKLA STRUCTURES**

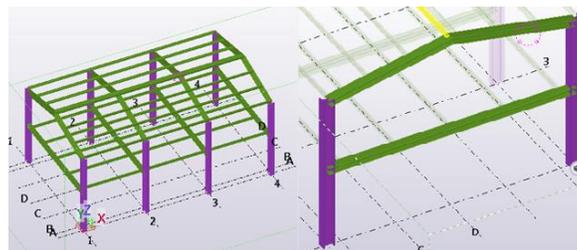
Por ser un software reconocido en el mundo BIM y además una de las herramientas más didácticas para la modelación de formaleta en 3D, se tomó la decisión de trabajar con el programa Tekla Structures. Inicialmente se contactó a la empresa por medio de su página web, donde a través de un formulario de solicitud se mencionó el interés en el programa y su posible utilidad para el proyecto, el 5 de Mayo de 2017 se recibió un correo electrónico por parte de la empresa donde solicitaban más información acerca del proyecto, a partir de ese momento se estableció una comunicación por medio de llamadas telefónicas y correos electrónicos con la empresa Construsoft Colombia, que es la distribuidora del software en el país. Dicha interacción condujo a la ratificación del apoyo de la empresa al proyecto, con su acompañamiento y ayuda por vía correo electrónico, adicionalmente se acordó la realización de una formación en el manejo del programa con unas clases online, totalmente gratuitas. La empresa Construsoft Colombia propuso sesiones online con una duración de 4 horas diarias por un lapso de 5 días, donde se identificó el alcance que el software proporcionaba al trabajo de grado. Para la estimulación educativa se realizaron ejercicios con los cuales se identificaron las herramientas que el software presentaba para el desarrollo de diferentes tareas. La metodología empleada por el instructor, consistió en un tutorial

básico de las herramientas que el programa ofrece y asigno tareas a los estudiantes como ejercicios de aplicación de conocimientos para comprobar que el proceso de aprendizaje se estuviera llevando de la mejor manera posible.

Los ejercicios planteados en las clases ofrecían una visión general de lo que el software puede ofrecer a la industria de la construcción, por ejemplo, se hicieron modelaciones 3D a partir de planos en 2D de estructuras en concreto y totalmente metálicas, donde se precisó la forma que trabajan las uniones de elementos y con las herramientas que ofrece el software se detallaron las características que se planteaban en los diseños de las estructuras.

El primer ejercicio que se realizó fue el de la modelación 3D de una estructura metálica, donde se identificaron las uniones entre elementos, se colocaron cada una de las piezas, la identificación de cada uno de los perfiles que se debían utilizar en el montaje.

**Imagen 1. Primer ejercicio en Tekla Structures**

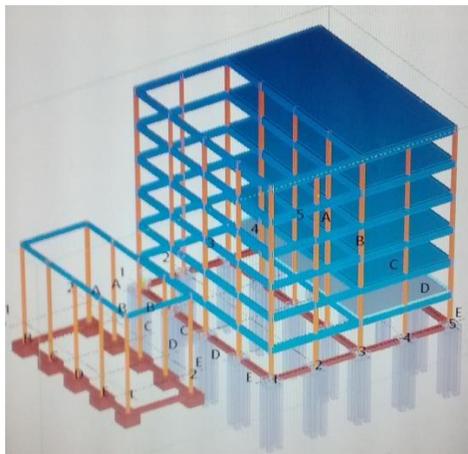


**Fuente: Autores**

Para el segundo ejercicio se utilizaron los planos estructurales de una edificación en concreto para hacer la modelación en 3D de la misma, primero se realizó una identificación de los planos en 2D, en segundo lugar se determinaron los tamaños y posiciones de cada uno de los elementos que componían la estructura, y finalmente se modelaron los elementos en 3D. Este

ejercicio fue de gran ayuda ya que el proyecto de construcción que se seleccionó para el desarrollo de este trabajo de grado es una edificación con estructura en concreto, por lo tanto más que la adquisición de habilidades en las herramientas que ofrece el software, sirvió como ejemplo previo para visualizar el alcance al que se puede llegar para cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo de grado.

**Imagen 2. Segundo Ejercicio en Tekla Structures**



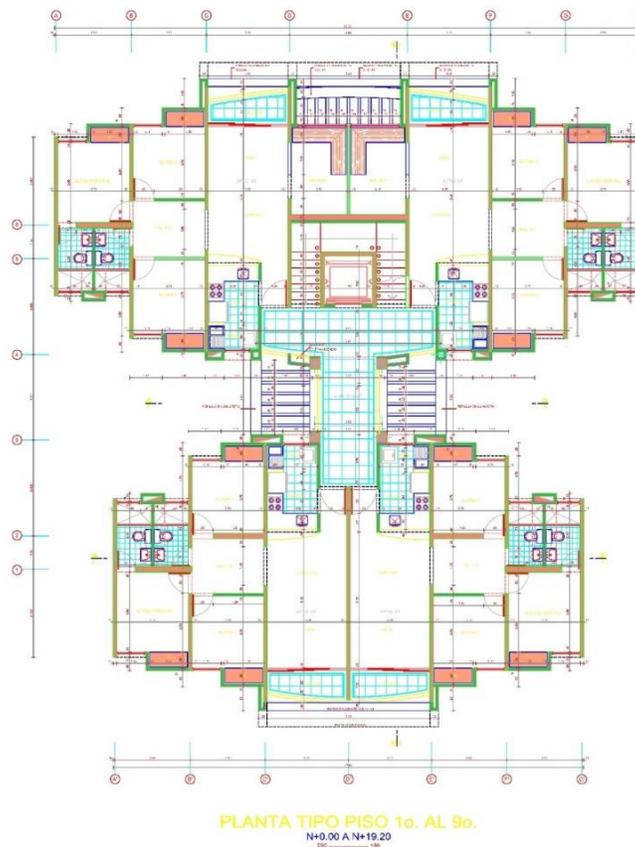
**Fuente: Autores**

## **5.2 SELECCIÓN DE LA EDIFICACION**

Para cumplir los objetivos planteados con respecto a la modulación de formaleta en Tekla se eligió un proyecto de construcción de vivienda con sistema tipo industrial, con una estructura compuesta por placas y muros en concreto. La forma del edificio es irregular, con dos torres completamente diferentes. Cuenta con un área de 382.232 m<sup>2</sup>, una altura de 12 metros, que corresponde a cinco pisos. Las placas de concreto son de 10 cm y existen muros de 12, 15 y 20 cm.

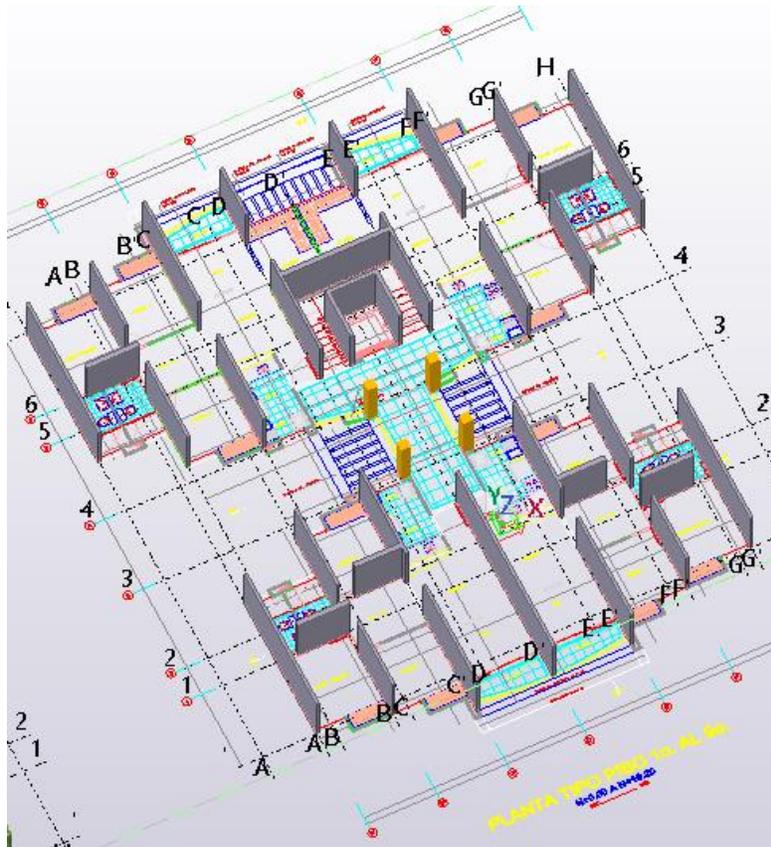
El proceso de construcción es monolítico, a causa del gran volumen de concreto que se maneja para los muros y placas ( $72.2 \text{ m}^3$ ), se decidió encofrar y fundir por secciones, razón por la cual el proceso constructivo de un piso se divide en tres etapas, la primera es el encofrado y fundida de los muros y placa de la sección más grande nombrada sección A donde se encuentra la estructura del ascensor, después se sigue el mismo proceso para la sección adyacente, nombrada sección B, y por último se encofra y se funde la sección central de la planta que une las secciones anteriormente construidas, de manera que se deben elegir las opciones de formaleta más adecuadas para su construcción.

**Imagen 3. Plano en planta de la Edificación**



**Fuente: Autores**

**Imagen 4. Muros en 3D a partir de planos en 2D**



**Fuente: Autores**

### 5.2.1 Identificación de elementos de formaleta útiles para el proyecto

Para la modelación de los diferentes elementos de formaleta, se hizo primero la identificación de los tableros metálicos más comerciales de la marca Metalex, puesto que el sistema de formaleta con que dispone la Universidad es de esta marca. En segundo lugar, se solicitó un reporte al laboratorio de construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, de todos los elementos de formaleta que se encontraban a disposición de los

estudiantes, con el objetivo de establecer la disponibilidad de los elementos comerciales identificados anteriormente, además se determinó si existían elementos especiales fabricados únicamente para la universidad. Finalmente se hizo una revisión general de los planos estructurales de la edificación elegida para reconocer las medidas de todos sus elementos (muros y losas) y con esos datos se determinó de manera preliminar cuáles tableros metálicos se debían utilizar para un encofrado completo. El mismo proceso se realizó con las rinconeras, puntales y cerchas.

**Tabla 1. Inventario de Formaleta Metálica UPB**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Chapetas	1500
Pines Sencillos	221
Pines Dobles	20
Corbatas de 10 cm	152
Corbatas de 30 cm	4
Tubos	2
Uñas	2
Tensores	90
Bases para alineadores	10
Prensa en C	11
Latas de 1.20x0.10	36
Latas de 1.00x0.10	5
Latas de 0.90x0.10	1
Latas de 0.80x0.10	5
Latas de 0.78x0.10	1
Latas de 0.70x0.10	3
Latas de 0.68x0.10	1
Latas de 0.60x0.10	5
Latas de 0.51x0.085x0.10	1
Latas de 0.50x0.10	10
Latas de 0.40x0.10	6
Latas de 0.30x0.10	4
Latas de 0.28x0.10	1
Latas de 0.20x0.10	1
Latas de 0.60x0.80	2
Latas de 0.60x1.20	10
Latas de 0.60x0.715	4

Latas de 0.60x1.00	14
Latas de 0.50x1.20	9
Latas de 0.50x1.10	1
Latas de 0.50x1.00	5
Latas de 0.40x1.20	15
Latas de 0.40x1.20 con gotero	1
Latas de 0.40x1.00	5
Latas de 0.35x1.20	1
Latas de 0.35x1.10	1
Latas de 0.40x0.675	3
Latas de 0.40x0.6	2
Latas de 0.50x0.60	1
Latas de 0.175x1.20	1
Latas de 0.175x1.00	1
Latas de 0.165x0.85	2
Latas de 0.165x0.65	13
Latas de 0.275x0.715	1
Latas de 0.275x0.65	1
Latas de 0.30x1.20	19
Latas de 0.30x1.00	7
Latas de 0.30x0.80	3
Latas de 0.30x0.40	1
Latas de 0.20x1.20	18
Latas de 0.20x1.00	6
Latas de 0.20x0.60	3
Latas de 0.20x0.40	2
Latas de 0.60x1.20 en alto relieve	2
Latas de 0.40x1.20 en alto relieve	1
Latas de 0.20x1.20 en alto relieve	2
Rinconeras de 0.10x1.20	9
Rinconeras de 0.10x1.20 con punta en media cuña	1
Rinconeras de 0.10x1.10 con punta en media cuña	1
Rinconeras de 0.10x1.10	2
Rinconeras de 0.10x0.775	1
Rinconeras de 0.10x0.30	4
Rinconeras de 0.10x0.20	2
Rinconeras de 0.10x0.10	5

Rinconera Circular de 0.10x0.10x1.20	5
Rinconera Circular de 0.10x0.10x1.10	1
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.70 con escuadra	1
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.60 con escuadra	2
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.60	1
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.50	2
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.40	1
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.35	1
Rinconera Circular de 0.10x0.10x0.30	1
Formaleta en u de 0.05x0.06x1.20	7
Formaleta en u de 0.075x0.06x1.20	7
Rinconera de 0.25x1.20x0.075	1
Rinconera de 0.20x1.20x0.10	2
Lata con Rinconera de 0.25x1.10x0.10	1
Rinconera Interna de 0.10x0.10x1.20	1
Rinconera Externa de 0.14x0.14x1.20	1
Rinconera Interna de 0.205x0.105x0.715	1
Rinconera Externa de 0.105x0.025x0.725	1
Rinconera de 0.20x0.10x0.80	4
Rinconera de 0.20x0.10x0.60	2
Ángulos de 1.20	21
Ángulos de 0.60	14
Ángulos de 0.70	5
Ángulos de 1.02	1
Ángulos de 0.97	1
Ángulos de 0.10	1
Ángulos de 0.03x0.72	1

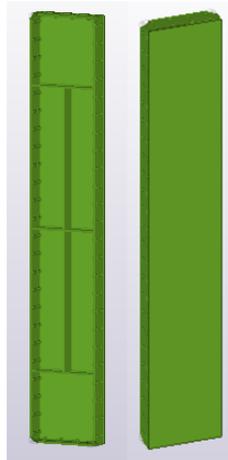
Ángulos de 0.85	2
Ángulos de 0.80	4
Ángulos de 0.77	1
Ángulos de 0.50	3
Ángulos de 0.40	1
Ángulos de 0.37	1

Fuente: Laboratorio de Construcciones Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

### 5.3 CREACIÓN DE COMPONENTES DE FORMALETA EN TEKLA STRUCTURES

Para la modelación de los componentes en el programa era necesario tener las medidas de las dimensiones de cada elemento, razón por la cual se realizó la medición de estos en el laboratorio de construcciones y se inició la creación de los elementos en 3D en el programa, usando las diferentes herramientas disponibles para ello.

Imagen 5. Componente: Tablero Metálico



Fuente: Autores

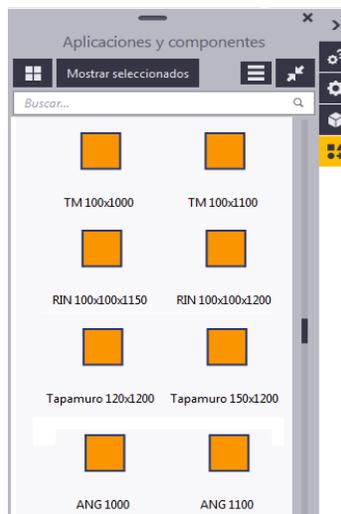
**Imagen 6. Componente Rinconera**



**Fuente: Autores**

Posteriormente se procedió a guardar cada elemento como un componente en Tekla Structures, aplicando para ello todos los conocimientos adquiridos anteriormente para el manejo del software. Cada componente es un modelo digital del elemento real con características como refuerzos internos de los tableros, diámetro de agujeros, detalles del fabricante, posición de las platinas y sus espesores.

**Imagen 7. Catálogo de componentes en Tekla Structures**



**Fuente: Autores**

A continuación, se presenta el inventario de los componentes creados en el programa, los cuales se encuentran disponibles para su uso en otros proyectos.

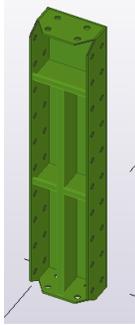
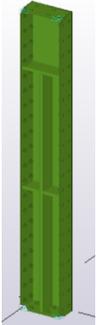
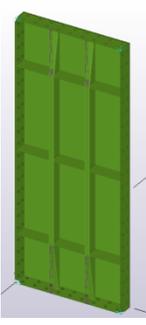
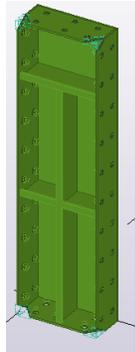
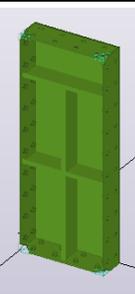
**Tabla 2. Inventario de Componentes Tableros Metálicos**

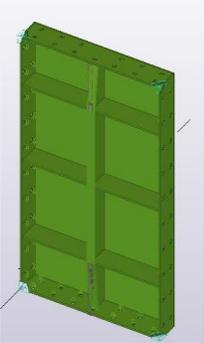
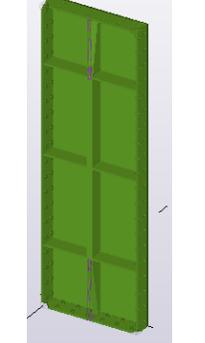
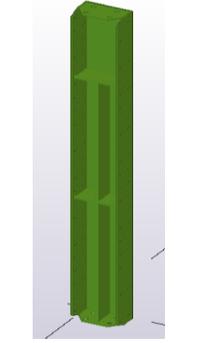
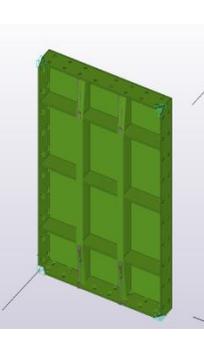
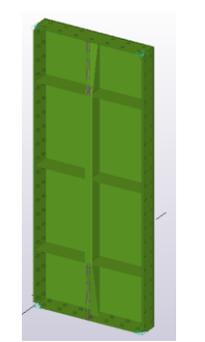
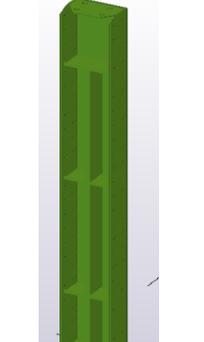
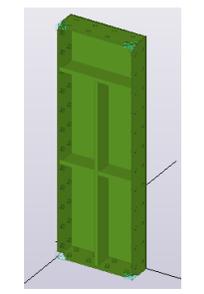
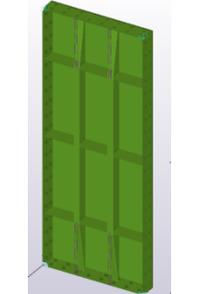
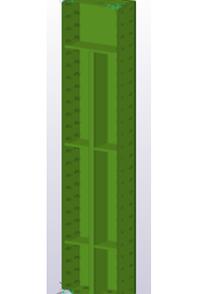
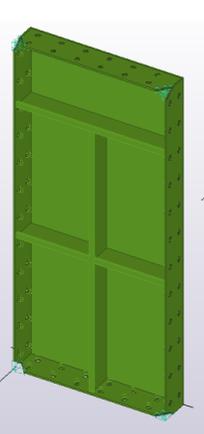
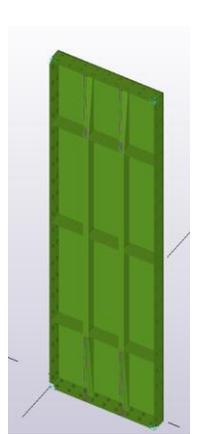
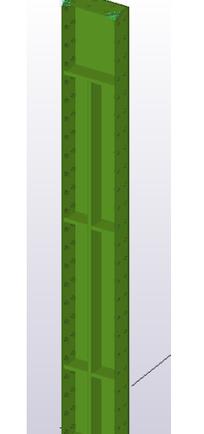
<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Disponibilidad UPB</b>
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	100	500	59	Si
Tablero 140x500 mm	TM 140x500	140	500	59	No
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	200	500	59	No
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	320	500	59	No
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	350	500	59	No
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	400	500	59	No
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	200	600	59	Si
Tablero 320x600 mm	TM 320x600	320	600	59	No
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	400	600	59	Si
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	500	600	59	Si
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	100	620	59	No
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	100	650	59	No
Tablero 320x700 mm	TM 320x700	320	700	59	No
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	100	700	59	Si
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	200	700	59	No
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	350	740	59	No
Tablero 100x900 mm	TM 100x900	100	900	59	Si
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	100	1000	59	Si
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	120	1000	59	No
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	200	1000	59	Si
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	250	1000	59	No
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	300	1000	59	Si
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	320	1000	59	No
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	350	1000	59	No
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	400	1000	59	Si
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	450	1000	50	No
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	500	1000	59	Si
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	600	1000	59	Si
Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	650	1000	59	No
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	100	1100	59	No

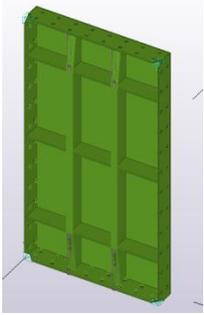
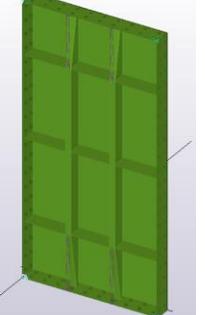
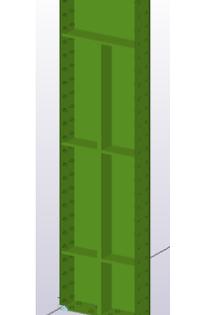
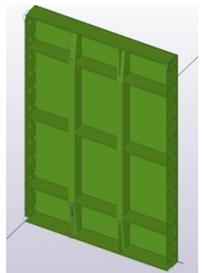
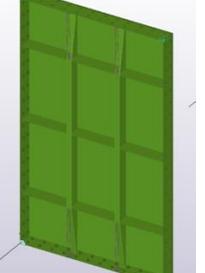
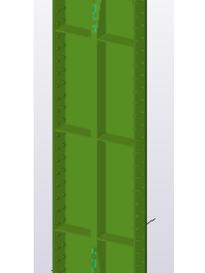
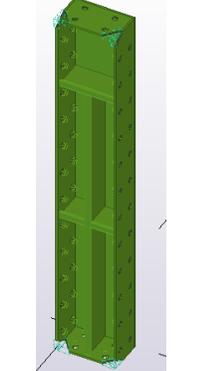
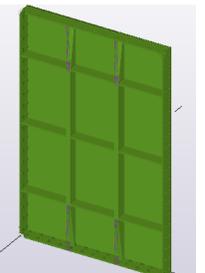
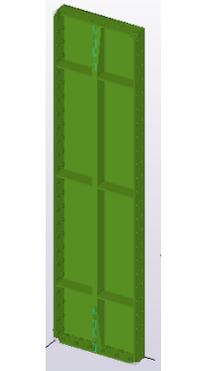
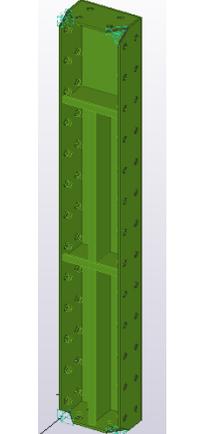
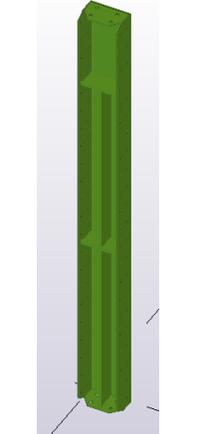
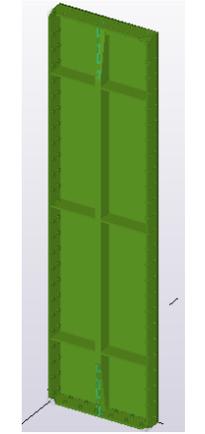
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	120	1100	59	No
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	200	1100	59	No
Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	250	1100	59	No
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	300	1100	59	No
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	350	1100	59	Si
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	400	1100	59	No
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	450	1100	59	No
Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	500	1100	59	Si
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	600	1100	59	No
Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	350	1120	59	No
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	100	1150	59	No
Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	100	1200	59	Si
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	120	1200	59	No
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	150	1200	59	No
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	200	1200	59	Si
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	250	1200	59	No
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	300	1200	59	Si
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	320	1200	59	No
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	350	1200	59	Si
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	400	1200	59	Si
Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	450	1200	59	No
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	500	1200	59	Si
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	600	1200	59	Si
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	650	1200	59	No
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	320	1250	59	No

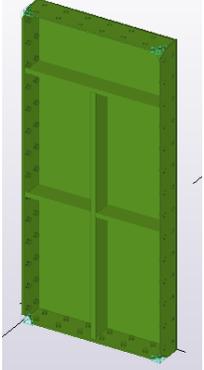
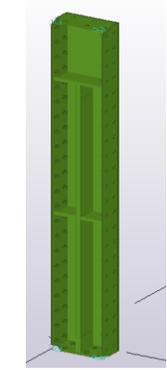
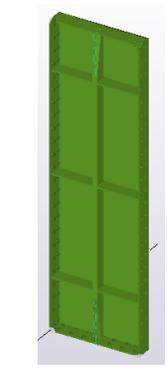
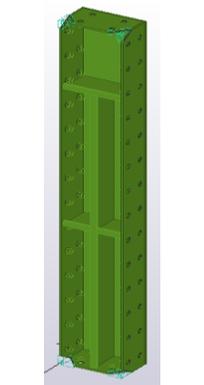
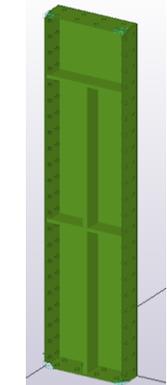
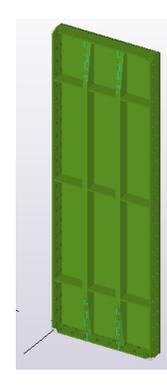
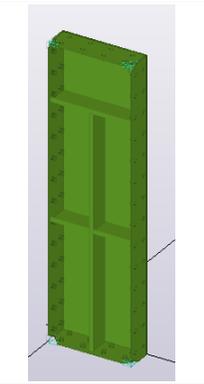
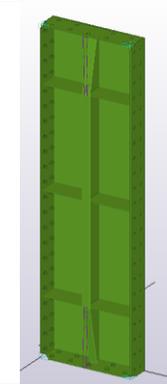
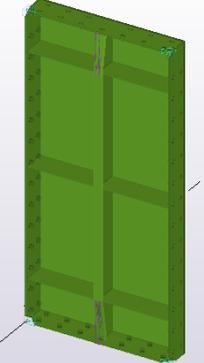
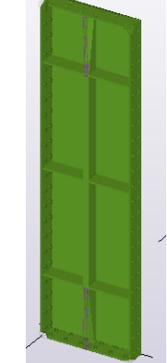
Fuente: Autores

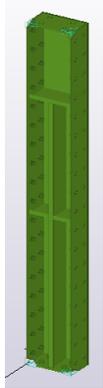
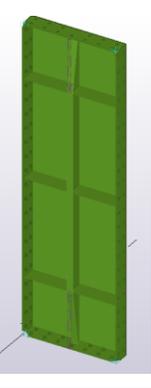
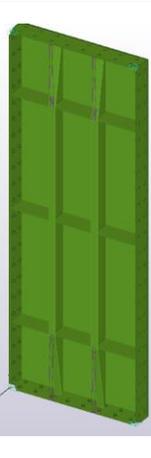
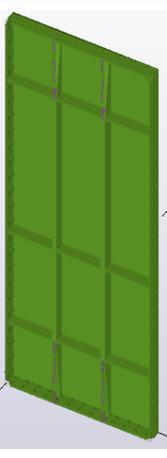
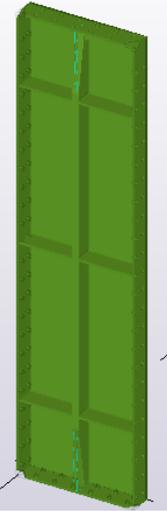
Tabla 3. Visualización Componentes de Tableros Metálicos en Tekla Structures

Nombre del Componente	Modelo 3D	Nombre del Componente	Modelo 3D	Nombre del Componente	Modelo 3D
TM 100x500		TM 120x1000		TM 450x1100	
TM 140x500		TM 200x1000		TM 500x1100	
TM 200x500		TM 250x1000		TM 600x1100	
TM 320x500		TM 300x1000		TM 350x1120	

TM 350x500		TM 320x1000		TM 100x1150	
TM 400x500		TM 350x1000		TM 100x1200	
TM 200x600		TM 400x1000		TM 120x1200	
TM 320x600		TM 450x1000		TM 150x1200	

<p>TM 400x600</p>		<p>TM 500x1000</p>		<p>TM 200x1200</p>	
<p>TM 500x600</p>		<p>TM 600x1000</p>		<p>TM 250x1200</p>	
<p>TM 100x620</p>		<p>TM 650x1000</p>		<p>TM 300x1200</p>	
<p>TM 100x650</p>		<p>TM 100x1100</p>		<p>TM 320x1200</p>	

TM 320x700		TM 120x1100		TM 350x1200	
TM 100x700		TM 200x1100		TM 400x1200	
TM 200x700		TM 250x1100		TM 450x1200	
TM 350x740		TM 300x1100		TM 500x1200	

TM 100x900		TM 350x1100		TM 600x1200	
TM 100x1000		TM 400x1100		TM 650x1200	
				TM 320x1250	

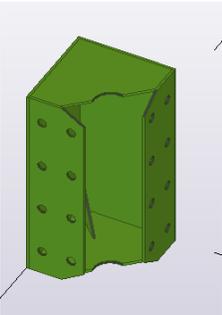
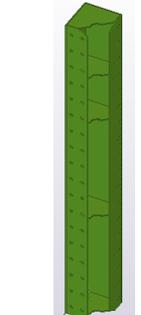
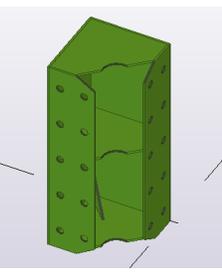
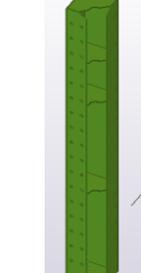
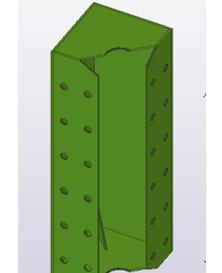
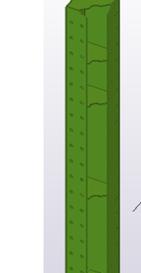
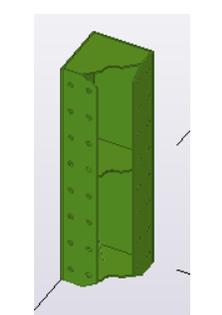
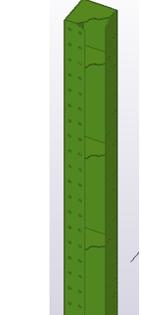
Fuente: Autores

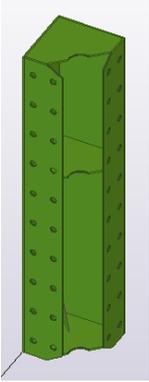
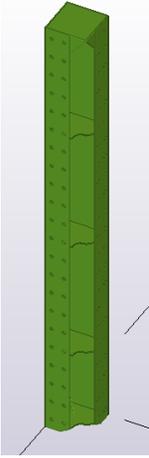
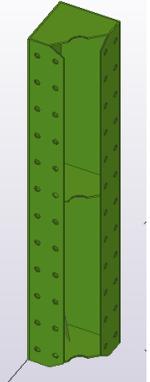
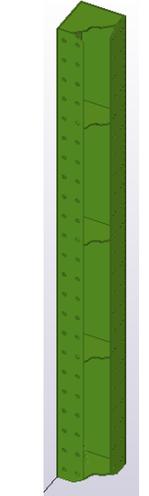
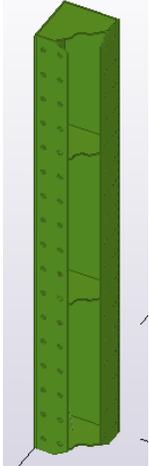
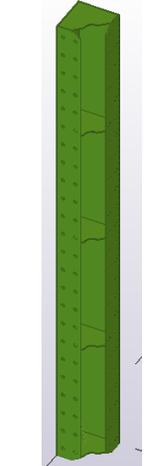
**Tabla 4. Inventario de Componentes Rinconeras**

<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Ancho1 (mm)</b>	<b>Ancho2 (mm)</b>	<b>Disponibilidad UPB</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	200	100	100	No
Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	250	100	100	No
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	320	100	100	No
Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	400	100	100	No
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	500	100	100	No
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	600	100	100	No
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	850	100	100	No
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	900	100	100	No
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	920	100	100	No
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	950	100	100	No
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	1050	100	100	No
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	1100	100	100	No
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	1150	100	100	No
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	1200	100	100	Si

**Fuente: Autores**

Tabla 5. Visualización Componentes de Rinconeras en Tekla Structures

Nombre del Componente	Modelo 3D	Nombre del Componente	Modelo 3D
RIN 100x100x200		RIN 100x100x900	
RIN 100x100x250		RIN 100x100x920	
RIN 100x100x320		RIN 100x100x950	
RIN 100x100x400		RIN 100x100x1050	

<p>RIN 100x100x500</p>		<p>RIN 100x100x1100</p>	
<p>RIN 100x100x600</p>		<p>RIN 100x100x1150</p>	
<p>RIN 100x100x850</p>		<p>RIN 100x100x1200</p>	

Fuente: Autores

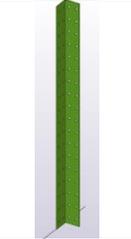
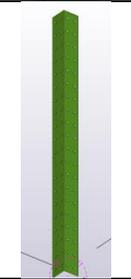
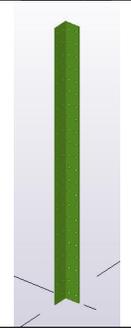
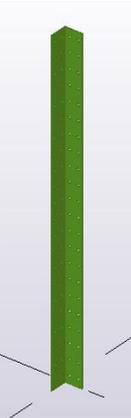
**Tabla 6. Inventario de Componentes Ángulos**

<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Disponibilidad UPB</b>
Angulo 320 mm	ANG 320	320	No
Angulo 350 mm	ANG 350	350	No
Angulo 500 mm	ANG 500	500	No
Angulo 700 mm	ANG 700	700	No
Angulo 900 mm	ANG 900	900	No
Angulo 1000 mm	ANG 1000	1000	No
Angulo 1100 mm	ANG 1100	1100	No
Angulo 1200 mm	ANG 1200	1200	Si

Fuente: Autores

**Tabla 7. Visualización Componentes de Ángulos en Tekla Structures**

<b>Nombre del Componente</b>	<b>Modelo 3D</b>
ANG 320	
ANG 350	
ANG 500	

ANG 700	
ANG 900	
ANG 1000	
ANG 1100	
ANG 1200	

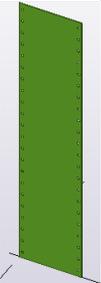
Fuente: Autores

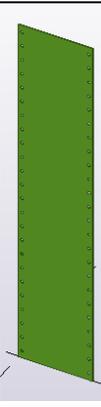
**Tabla 8. Inventario de Componentes Tapamuros**

<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Disponibilidad UPB</b>
Tapamuro 120x1000 mm	Tapamuro 120x1000 mm	1000	238	3	No
Tapamuro 120x1100 mm	Tapamuro 120x1100 mm	1100	238	3	No
Tapamuro 200x1100 mm	Tapamuro 200x1100 mm	1100	318	3	No
Tapamuro 120x1200 mm	Tapamuro 120x1200 mm	1200	238	3	No
Tapamuro 150x1200 mm	Tapamuro 150x1200 mm	1200	268	3	No
Tapamuro 200x1200 mm	Tapamuro 200x1200 mm	1200	318	3	No

Fuente: Autores

**Tabla 9. Visualización Componentes de Tapamuros en Tekla Structures**

<b>Nombre del Componente</b>	<b>Modelo 3D</b>
Tapamuro 120x1000	
Tapamuro 120x1100	

<p>Tapamuro 200x1100</p>	
<p>Tapamuro 120x1200</p>	
<p>Tapamuro 150x1200</p>	
<p>Tapamuro 200x1200</p>	

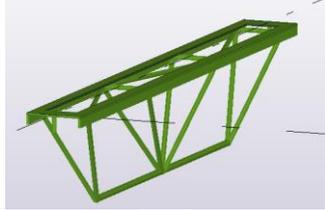
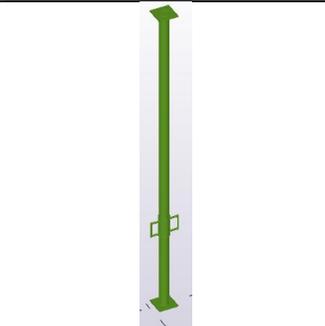
Fuente: Autores

**Tabla 10. Inventario de Componentes Apuntalamiento**

<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Disponibilidad UPB</b>
Cercha	CERCHA 1500	Si
Paral	PARAL	Si

Fuente: Autores

**Tabla 11. Visualización Componentes de Apuntalamiento en Tekla Structures**

<b>Nombre del Componente</b>	<b>Modelo 3D</b>
CERCHA 1500	
PARAL	

Fuente: Autores

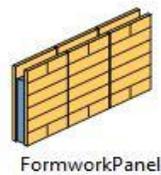
### 5.3.1 Configuración de Formworkpanel en Tekla Structures

Tekla Structures cuenta con una herramienta para la ubicación de la formaleta para muros, la cual se puede modificar de acuerdo a las necesidades del usuario, ya que la configuración de los componentes se hace por medio de una hoja de Excel que se encuentran en una carpeta llamada

Formwork Tools, que a su vez está dentro de la carpeta del modelo. La carpeta Formwork Tools está conformada por varios archivos de Excel, que configuran los diferentes elementos para la formaleta de muros, en este proyecto se configuro la herramienta para la colocación de tableros metálicos que aparece en la carpeta con el siguiente nombre:

- METALEX.FormworkTools.Panels.csv – Para modificar los tableros metálicos

**Imagen 8. Icono de FormworkPanel**



**Fuente: Tekla Structures**

De acuerdo con los objetivos planteados para el proyecto, es suficiente con ajustar la hoja de Excel que permite configurar la disposición de los tableros metálicos. Para la configuración de la herramienta de colocación de tableros (METALEX.FormworkTools.Panels.csv) fue necesario crear los componentes en Tekla Structures de todos los tableros que se iban a usar, puesto que es una condición esencial para el correcto funcionamiento de la herramienta. Seguidamente se procedió a editar la hoja de Excel, ingresando la información necesaria para su funcionamiento. La hoja está compuesta por diferentes casillas, sin embargo, las casillas útiles en este caso fueron las que se muestran en la siguiente imagen.

**Imagen 9. Configuración del archivo de Excel METALEX.FormworkTools.Panels.csv**

// Following row specifies the data column names, this shall be the first row before the actual data rows.										
Supplier	Name	PanelName	PanelPlanePosition	PanelRotation	PanelDepthPosition	PanelStartOffset	PanelEndOffset	HeightValue	WidthValue	ThicknessValue
METALEX	TM 100x1200	TM 100x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	100	59
METALEX	TM 200x1200	TM 200x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	200	59
METALEX	TM 250x1200	TM 250x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	250	59
METALEX	TM 300x1200	TM 300x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	300	59
METALEX	TM 350x1200	TM 350x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	350	59
METALEX	TM 400x1200	TM 400x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	400	59
METALEX	TM 450x1200	TM 450x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	450	59
METALEX	TM 500x1200	TM 500x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	500	59
METALEX	TM 600x1200	TM 600x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	600	59
METALEX	TM 650x1200	TM 650x1200	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1200	650	59
//										
METALEX	TM 100x1100	TM 100x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	100	59
METALEX	TM 200x1100	TM 200x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	200	59
METALEX	TM 250x1100	TM 250x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	250	59
METALEX	TM 300x1100	TM 300x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	300	59
METALEX	TM 350x1100	TM 350x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	350	59
METALEX	TM 400x1100	TM 400x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	400	59
METALEX	TM 450x1100	TM 450x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	450	59
METALEX	TM 500x1100	TM 500x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	500	59
METALEX	TM 600x1100	TM 600x1100	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1100	600	59
//										
METALEX	TM 100x1000	TM 100x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	100	59
METALEX	TM 200x1000	TM 200x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	200	59
METALEX	TM 250x1000	TM 250x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	250	59
METALEX	TM 300x1000	TM 300x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	300	59
METALEX	TM 400x1000	TM 400x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	400	59
METALEX	TM 450x1000	TM 450x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	450	59
METALEX	TM 500x1000	TM 500x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	500	59
METALEX	TM 600x1000	TM 600x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	600	59
METALEX	TM 650x1000	TM 600x1000	Right	Top	Front	(0 0 0)	(0,0,0)	1000	650	59

**Fuente: Autores**

Cada una de ellas tiene una función específica que se describe a continuación.

Supplier: nombre del proveedor.

Name: nombre del panel o tablero metálico, debe ser único ya que será el que aparezca entre las opciones de elección de la herramienta.

PanelName: nombre con el que fue creado el componente personalizado.

**PanelPlanePosition:** indica la posición que se usara para insertar los componentes personalizados en la vista del plano. Entre las opciones de posición están Left (izquierda), Right (derecha) y Middle (medio).

**PanelRotation:** indica la rotación que tendrán los componentes personalizados en la vista del plano. Entre las opciones están Front (frontal), Back (atrás), Top (superior) y Below (abajo).

**PanelDepthPosition:** indica la profundidad con respecto a la cual se posicionarán los componentes en la vista de plano. Entre las opciones están Middle (Mitad), Front (frente) y Behind (detrás).

**PanelStartOffset:** es el desplazamiento del punto de inicio real desde el punto de inicio genérico en el sistema de coordenadas local. El desplazamiento se da como valores X, Y y Z separados por espacio o dos puntos y encerrados entre paréntesis, por ej. (0 100 0). Si no se proporciona ningún valor, se asume el desplazamiento cero (0 0 0).

**PanelEndOffset:** es el desplazamiento del punto final real desde el punto final genérico en el sistema de coordenadas local. El desplazamiento se da como valores X, Y y Z separados por espacio o dos puntos y encerrados entre paréntesis, por ej. (0 100 0). Si no se proporciona ningún valor, se asume el desplazamiento cero (0 0 0).

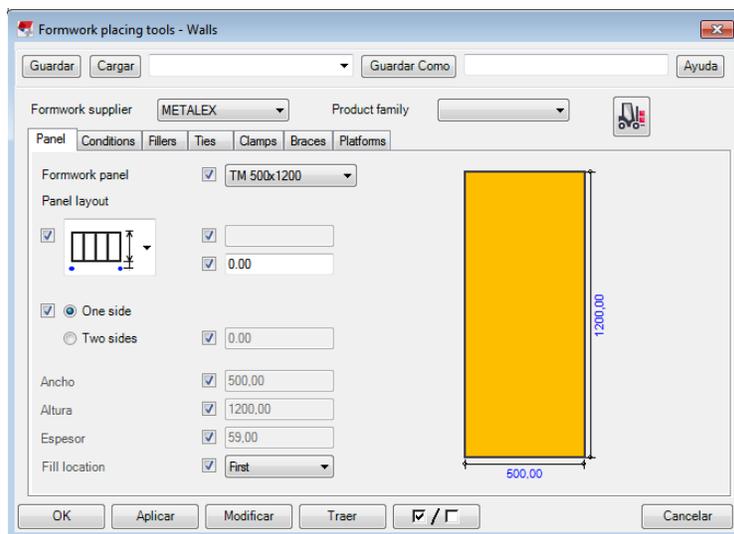
**HeightValue:** indica la altura del tablero. Es importante saber que la herramienta no obtiene la altura del catálogo de componentes y por tanto supone que este archivo contiene el valor correcto.

WidthValue: indica el ancho del tablero. Es importante saber que la herramienta no obtiene el ancho del catálogo de componentes y por tanto supone que este archivo contiene el valor correcto.

ThicknessValue: indica el espesor del tablero. Es importante saber que la herramienta no obtiene el espesor del catálogo de componentes y por tanto supone que este archivo contiene el valor correcto.

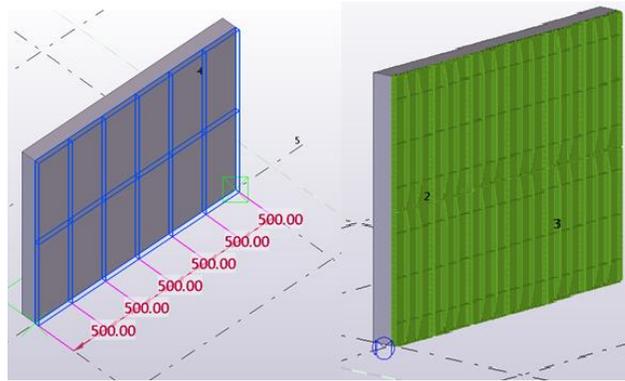
Una vez se configura el archivo de Excel, se puede utilizar la herramienta en el programa, eligiendo entre las opciones de tableros metálicos la más favorable para cada caso. Después de hacer la elección se da clic en el punto de inicio del muro y posteriormente en el punto final del mismo, y automáticamente el programa coloca los tableros a lo largo del muro. Es importante aclarar que esta herramienta funciona para muros cuya forma sigue la trayectoria de una línea recta.

**Imagen 10. Menú Formwork Placing Tools – Walls (Muros)**



**Fuente: Tekla Structures**

**Imagen 11. Ubicación de Tableros Metálicos en Muro**



**Fuente: Autores**

### 5.3.2 Configuración de Formworkcondition en Tekla Structures

FormworkCondition es una herramienta que facilita la colocación de la formaleta para las uniones entre los muros, por ejemplo, los que se unen formando una L, T o X. Su funcionamiento depende de la configuración de un archivo de Excel (METALEX.FormworkTools.Conditions.csv) que se encuentra en la carpeta del modelo dentro de la carpeta Formwork Tools y al igual que la herramienta Formworkpanel, se necesitan los componentes de los tableros metálicos, pero adicionalmente se debe crear los componentes de las rinconeras o los elementos de formaleta que sean necesarios en estas uniones.

**Imagen 12. Icono de FormworkCondition en Tekla Structures**



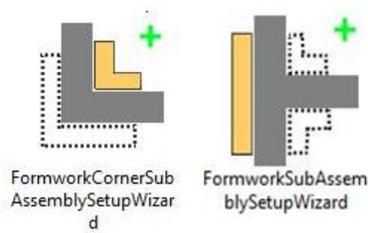
**Fuente: Tekla Structures**

Los pasos para configurar la herramienta son los siguientes:

- Modelar todos los componentes (tableros, rinconeras) que se deben usar para las uniones entre los muros (L, T, X).
- Crear los ensamblajes entre los elementos, esto se hace interactivamente en el programa. Los ensamblajes se refieren a la unión entre rinconeras y tableros para su posterior colocación automática como un solo elemento, al crear cada ensamblaje aparece un archivo tipo XML en la carpeta Formwork Tools con el nombre que le fue dado al ensamblaje.
- Insertar los datos en la hoja de Excel para cada condición.

Para el proyecto se configuro la herramienta para uniones de muros en L y T, ya que eran las únicas formas especiales de la edificación. El proceso inicio con la creación de los ensamblajes, ya que con anterioridad se habían creado los componentes (tableros y rinconeras), para ello se emplearon las herramientas FormworkCornerSubAssemblySetupWizard y FormworkSubAssemblySetupWizard la primera para crear las esquinas de los muros y la segunda para los muros en T. Cada una de estas herramientas va dando las indicaciones para la creación de los ensamblajes, pero previamente se debe hacer la correcta disposición de los elementos de formaleta para cada unión, es decir que en primer lugar se coloca la formaleta en la unión de los muros y luego se usa alguna de las dos herramientas.

**Imagen 13. Herramientas para Ensamblajes**



**Fuente: Tekla Structures**

Las abreviaturas usadas para nombrar los ensamblajes tienen un significado especial. En el caso de las uniones de muros que terminan en esquinas, es decir, en forma de L, se usan los ensamblajes tipo “EE TM ##x###” EE TM significa esquina exterior y tablero metálico respectivamente, por lo que el nombre hace referencia a los tipos de tableros metálicos ubicados en la parte exterior de la esquina del muro. También forma parte de las uniones tipo L, los ensamblajes tipo “EI RIN ##x##x##” es para la rinconera ubicada en la cara interior de la unión del muro, EI RIN se traduce en esquina interior y rinconera respectivamente. Los muros con uniones tipo T, requieren de una combinación de ensamblajes tipo “EI RIN ##x##x##”, que son rinconeras para las caras interiores de la unión y “TE TM ##” para la parte exterior donde va ubicado un tablero metálico.

**Imagen 14. Ensamblajes creados para uniones de muros**

Nombre	Tipo	Tamaño
METALEX.FormworkTools.Conditions.csv	Archivo de valores...	5 KB
METALEX.FormworkTools.Panels.csv	Archivo de valores...	8 KB
EE TM 100x1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 200x1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 250x1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 300X1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 350X1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 400X1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 450X1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 500x1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 600x1000.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EE TM 600X1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EI RIN 100x100x1100.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
EI RIN 100x100x1200.FormworkTools.CornerSubAssembly.xml	Documento XML	3 KB
TE TM 100.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 200.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 250.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 300.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 350.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 400.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 450.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 500.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 600.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB
TE TM 600x1000.FormworkTools.PanelSubAssembly.xml	Documento XML	2 KB

**Fuente: Autores**

El archivo de Excel “METALEX.FormworkTools.Conditions.csv” contiene celdas con información de los ensamblajes e identificación de cada unión especial para los muros. La información se divide en columnas, que significan lo siguiente:

Supplier: nombre del proveedor

Name: nombre la unión, debe ser único ya que será el que aparezca entre las opciones de elección de la herramienta.

Cornease: el tipo de unión entre los muros. Entre las opciones están L, T, X.

SubAssembly1: nombre del primer ensamblaje necesario para la unión.

SubAssembly2: nombre del segundo ensamblaje necesario para la unión.

SubAssembly3: nombre del tercer ensamblaje necesario para la unión, en caso de que exista.

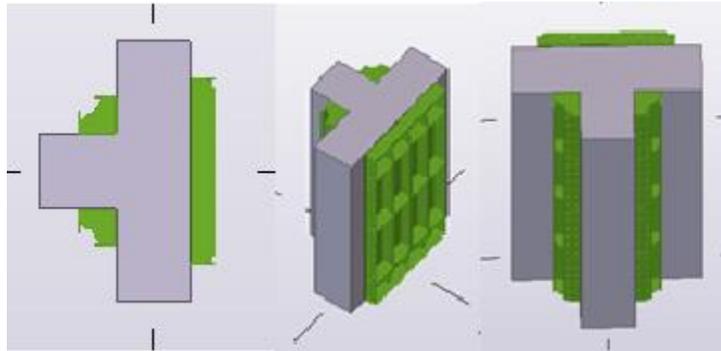
**Imagen 15. Configuración archivo de Excel METALEX.FormworkTools.Conditions.csv**

// Following row specifies the data column names, this shall be the first row before the actual data rows.					
Supplier	Name	CornerCase	SubAssembly1	SubAssembly2	SubAssembly3
METALEX	ESQUINA TM 100X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 100x1200	
METALEX	ESQUINA TM 200X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 200x1200	
METALEX	ESQUINA TM 250X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 250x1200	
METALEX	ESQUINA TM 300X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 300x1200	
METALEX	ESQUINA TM 350X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 350x1200	
METALEX	ESQUINA TM 400X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 400x1200	
METALEX	ESQUINA TM 450X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 450x1200	
METALEX	ESQUINA TM 500X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 500x1200	
METALEX	ESQUINA TM 600X1200 RIN 1200	L	EI RIN 100x100x1200	EE TM 600x1200	
METALEX	TEE TM 500X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 500
METALEX	TEE TM 600X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 600
METALEX	TEE TM 100X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 100
METALEX	TEE TM 200X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 200
METALEX	TEE TM 250X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 250
METALEX	TEE TM 350X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 350
METALEX	TEE TM 300X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 300
METALEX	TEE TM 400X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 400
METALEX	TEE TM 450X1200 RIN 1200	T	EI RIN 100x100x1200	EI RIN 100x100x1200	TE TM 450
METALEX	ESQUINA TM 600X1100 RIN 1100	L	EI RIN 100x100x1100	EE TM 600x1000	
METALEX	TEE TM 600X1000 RIN 1100	T	EI RIN 100x100x1100	EI RIN 100x100x1100	TE TM 600x1000

**Fuente: Autores**

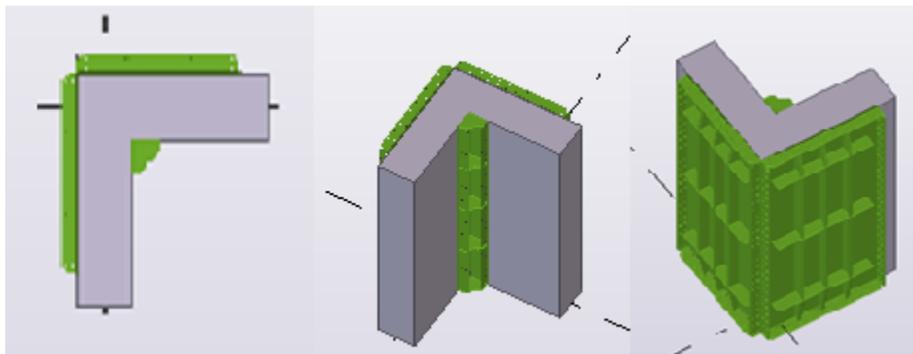
El tema de la cantidad de ensamblajes varía dependiendo del tipo de unión que se requiera, para las uniones en L se necesitan dos ensamblajes, uno para la parte exterior de la esquina (Tableros) y otro para la interior (Rinconera), en cambio las uniones en T necesitan tres ensamblajes, dos para la parte interior (Rinconeras) y uno para la exterior (Tablero).

**Imagen 16. Unión de muro en T**



**Fuente: Autores**

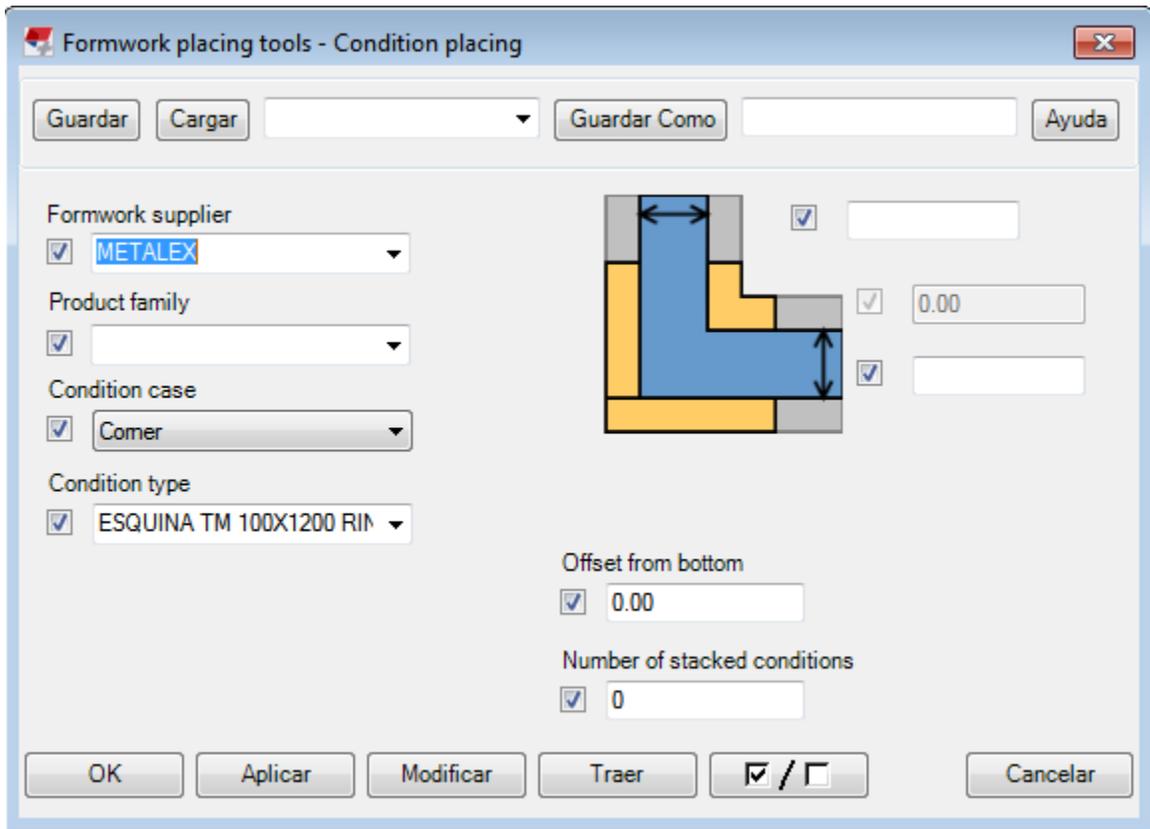
**Imagen 17. Unión de muro en L**



**Fuente: Autores**

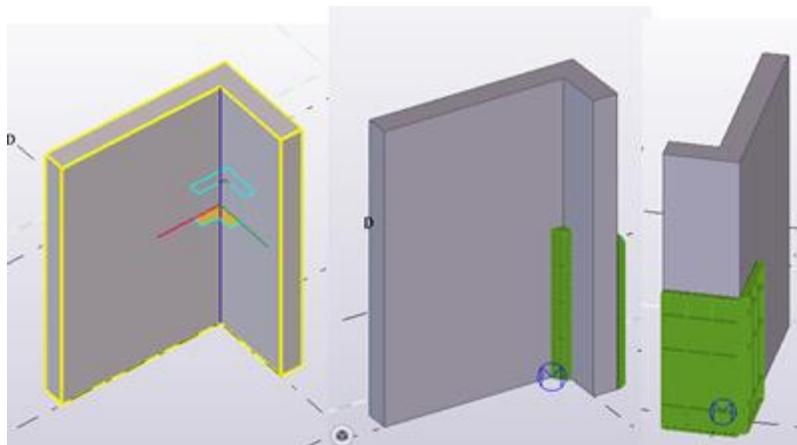
Después de que se hagan las configuraciones pertinentes se puede usar la herramienta eligiendo entre las opciones creadas la más adecuada para la unión de los muros. Una vez hecha la elección se da clic sobre el eje azul que aparece resaltado al ubicar el puntero en la unión.

Imagen 18. Menú Formwork Placing Tools - Condition Placing (Uniones)



Fuente: Tekla Structures

Imagen 19. Ubicación de unión en L en muro



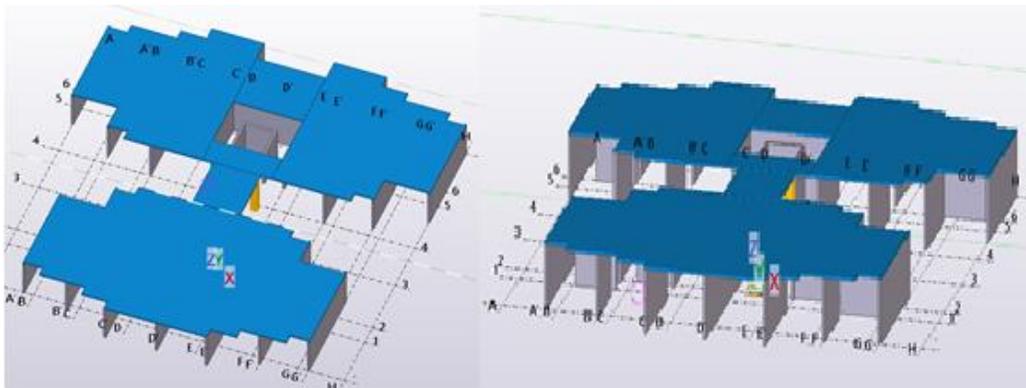
Fuente: Autores

## 5.4 CREACION DE MODELO BIM 3D

La visualización 3D del proyecto supone una mejor comprensión del alcance de la obra y de los efectos que tienen las decisiones que se toman. Además, permite detectar posibles interferencias entre los elementos, de manera que se pueda tomar medidas preventivas.

Inicialmente se hizo la identificación de los planos en AutoCAD y la exportación del plano en planta a Tekla para facilitar la ubicación y creación de los muros y la placa, ya que de esta manera se pueden medir espesores y longitudes. Los elementos estructurales como muros y placas en el programa funcionan como elementos paramétricos, es decir que se pueden editar en cualquier momento y cambian inmediatamente, ajustándose a las necesidades del proyecto. En este caso, la edificación elegida para el desarrollo del proyecto cuenta con 5 pisos, cada uno de ellos tiene el mismo diseño estructural y arquitectónico, por tal razón se creó un modelo 3D del primer piso, para posteriormente copiar el número de pisos faltantes y tener el modelo virtual de la edificación.

**Imagen 20. Modelación 3D del primer piso de la edificación**



**Fuente: Autores**

#### 5.4.1 Procedimiento para modulación de formaleta en Tekla Structures

1. Identificar los elementos de formaleta: saber para qué sirve cada uno de ellos, la variedad que existe, como trabajan entre ellos.
2. Reconocer aspectos importantes de la edificación: altura de entrepiso, forma, espesor de muros y placa, simetría de la estructura.
3. Crear el modelo 3D de edificación. En caso de que se cuente con planos de la edificación en archivos dwg, se recomienda tener planos de cada planta en archivos individuales con el fin de importarlos a Tekla Structures y así calcar las áreas de los muros y las placas convirtiéndolos en elementos en 3D. Aparte de eso si se tiene el mismo diseño para n cantidad de pisos, se sugiere empezar con la modelación del piso estándar para luego colocar la formaleta y posteriormente copiar ese modelo en forma vertical n veces sea necesario.
4. Configuración de las herramientas FormworkPanel y FormworkCondition si es necesario luego de haber establecido de forma preliminar los elementos que se usaran en el encofrado de la estructura.
5. Elegir la disposición más adecuada de tableros teniendo en cuenta aspectos de economía, eficiencia, colocación y tiempo.
6. Evitar el uso de elementos no estándares, no obstante, en caso de que sea inevitable hay que tener en cuenta los patrones que siguen los diseños de los elementos, por ejemplo, saber que normalmente se trabaja con dimensiones cuyos valores son múltiplos de 5 y 10.
7. Empezar por la modulación de la formaleta para los muros, optimizando al máximo la cantidad de elementos usados, empleando para ello las diferentes herramientas que Tekla

Structures ofrece. Tener en cuenta que la formaleta de los muros debe empalmar con la de la losa de manera que se deben colocar esos elementos de empalme.

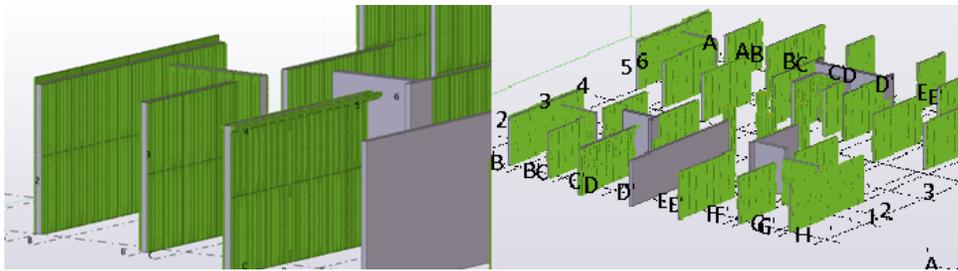
8. Una vez finalizada la modulación de la formaleta de los muros se procede con la disposición de la formaleta para la placa:
  - a. Dividir la placa en secciones y medir la distancia horizontal entre el tope de los muros para luego elegir los elementos de formaleta que sean necesarios.
  - b. Evaluar la forma de disposición de tableros más favorable, considerando como factor principal la ubicación de las cerchas y parales para el apuntalamiento del sistema de encofrado.

#### 5.4.2 Colocación de formaleta en muros de concreto con Tekla Structures

Después de tener la modelación del edificio en 3D se procede a la colocación de los tableros metálicos en los muros. La disposición de la formaleta para los muros es un procedimiento sencillo gracias a las herramientas con que cuenta el programa, como FormworktoolsPanel para la ubicación de los tableros metálicos en el muro y FormworkToolsCondition para la formaleta en las uniones de los muros. El proceso de configuración de la herramienta FormworkToolsPanel no es muy complicado teniendo en cuenta el alcance del proyecto y el sistema de formaleta, únicamente se tienen que crear los componentes en el programa de los tableros metálicos y después introducir los datos en el archivo de Excel, además esta es una herramienta muy personalizable que se puede ajustar a las necesidades del proyecto ofreciendo la posibilidad de ubicar la formaleta a ambos lados del muro, a la altura que se desee con un solo clic, igualmente ofrece varias formas

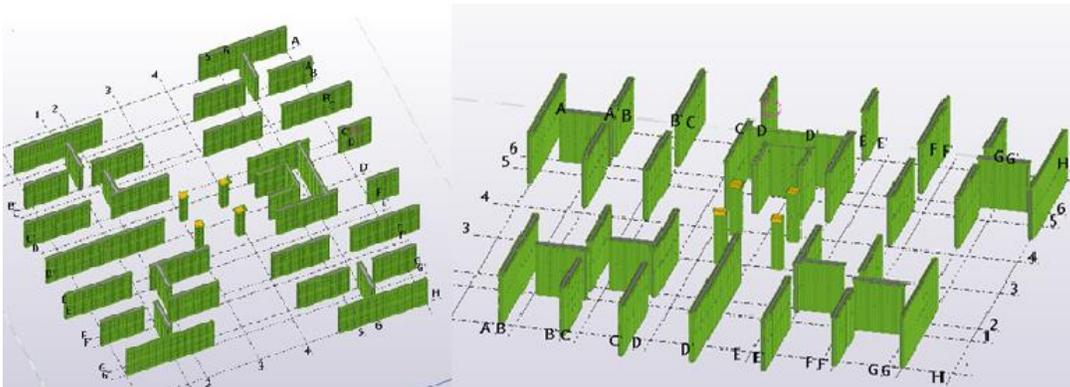
de disposición de los tableros como vertical, horizontal o una combinación de estas. Por otra parte, la configuración de FormworkToolsCondition es un poco tediosa porque no basta con tener los componentes, si no que se necesita crear ensamblajes entre los componentes, es decir que se debe crear un archivo que una los tableros y rinconeras dependiendo del tipo de muro, para ello se tiene que ubicar los elementos con exactitud y verificar la simetría del conjunto, por eso se debe ser muy cuidadoso para evitar errores.

**Imagen 21. Colocación de tableros en muros**



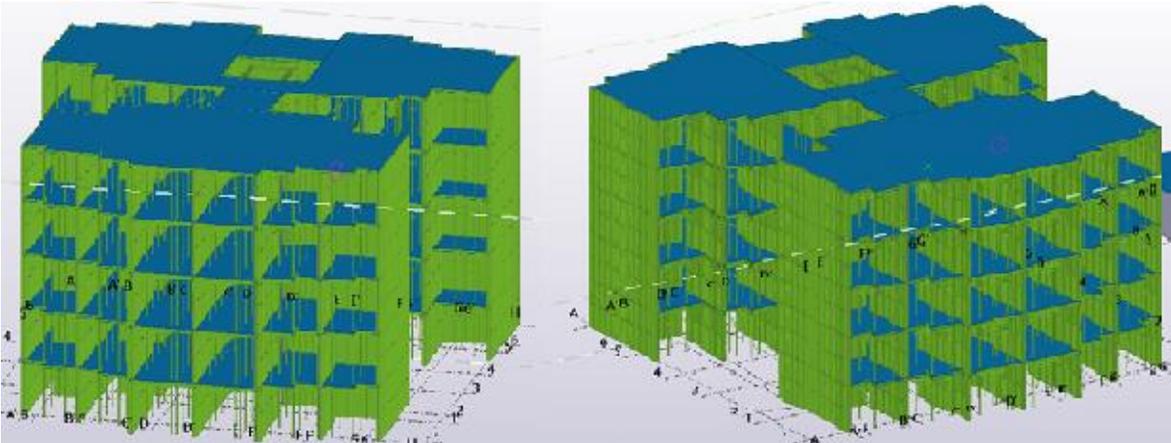
**Fuente: Autores**

**Imagen 22. Formaleta de muros en Tekla Structures**



**Fuente: Autores**

**Imagen 23. Modelación de formaleta en Tekla Structures**



**Fuente: Autores**

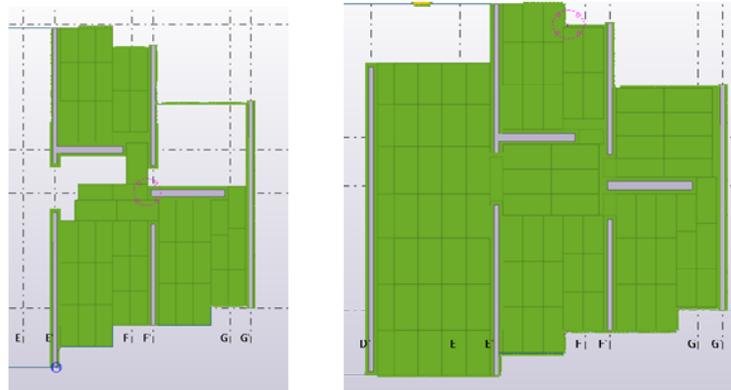
#### 5.4.3 Colocación de formaleta en placa de concreto con Tekla Structures

Para la ubicación de los elementos de formaleta para la placa de concreto no existe una herramienta en Tekla que facilite el proceso como la que se ofrece para los muros, en consecuencia, la modulación del encofrado de la placa toma bastante tiempo, ya que se tienen que ubicar los elementos usando diferentes comandos (mover, girar, copiar) pero sobre todo asegurándose de que la alineación entre los tableros está bien y que su disposición facilita el apuntalamiento de la placa. No obstante, el ejercicio es muy práctico ya que se pueden identificar de manera más crítica los tableros que encofraran la placa de concreto, debido a que esta posee características geométricas muy diferentes a la de los muros como, por ejemplo, su forma poco simétrica.

En general, el ejercicio de modular la formaleta en 3D supone beneficios significativos, como la facilidad para evaluar diferentes opciones de encofrado desde aspectos económicos y constructivos, ya que es posible modelar diferentes sistemas de formaleta en el software, sin la

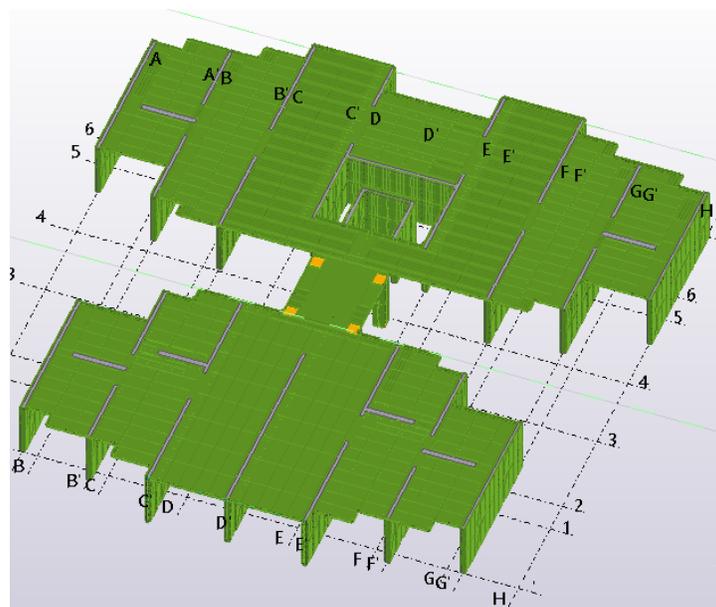
necesidad de disponer de los recursos reales. Asimismo, se determina la variedad de los elementos que se deben usar para el encofrado de la edificación, precisando con tiempo que elementos especiales se tienen que mandar a hacer, lo cual no deja lugar para la improvisación.

**Imagen 24. Colocación de formaleta de placa**



**Fuente: Autores**

**Imagen 25. Formaleta del primer piso en Tekla Structures**

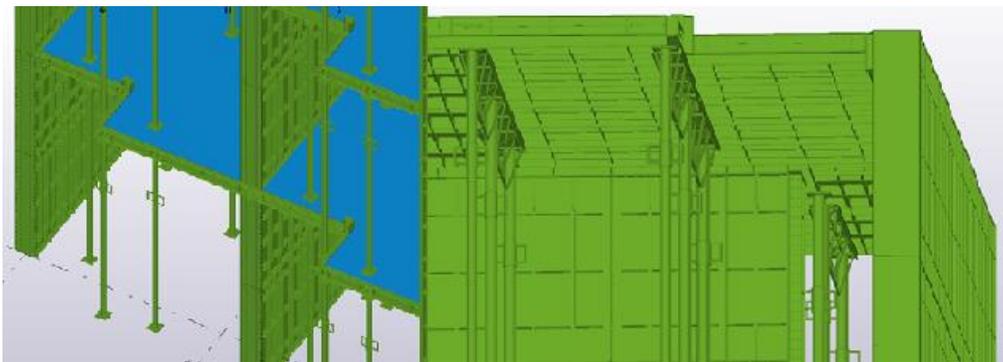


**Fuente: Autores**

#### 5.4.4 Apuntalamiento en placa de concreto

Con el posicionamiento final de cada elemento en la placa, se identifican los puntos críticos que necesitan de un soporte con ayuda de parales y cerchas metálicas para así garantizar la estabilidad de la formaleta y por tanto la forma de la placa, sin que se presenten deflexiones durante y después del vaciado de concreto.

**Imagen 26. Apuntalamiento de Placa.**



**Fuente: Autores**

Los elementos necesarios para el apuntalamiento son parales y cerchas metálicas.

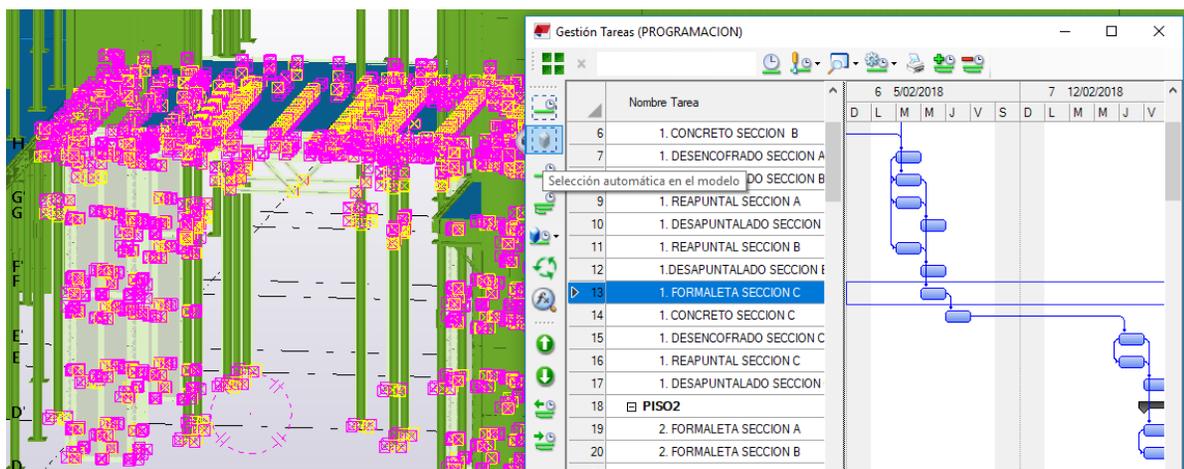
La ubicación de dichos elementos debe ser de forma perpendicular al lado más largo de los tableros.

### 5.5 CUANTIFICACIÓN DE LA FORMALETA

Para la cuantificación de formaleta en Tekla es preciso generar informes de las partes que forman los componentes de encofrado presentes en el modelo, ya que no es posible obtener un listado con los nombres de los componentes y su cantidad. El primer paso a seguir es la selección

de los elementos que tiene como objetivo distinguir las propiedades de las partes en una sección de la edificación, para ello se utiliza la herramienta de “selección automática en el modelo”, ubicada en la ventana de gestión de tareas en la que previamente se selecciona la tarea a la que están enlazados los elementos de la sección que se quiere cuantificar, o ingresando a la información de la tarea y seleccionando todos los objetos, como se muestra en la siguiente imagen.

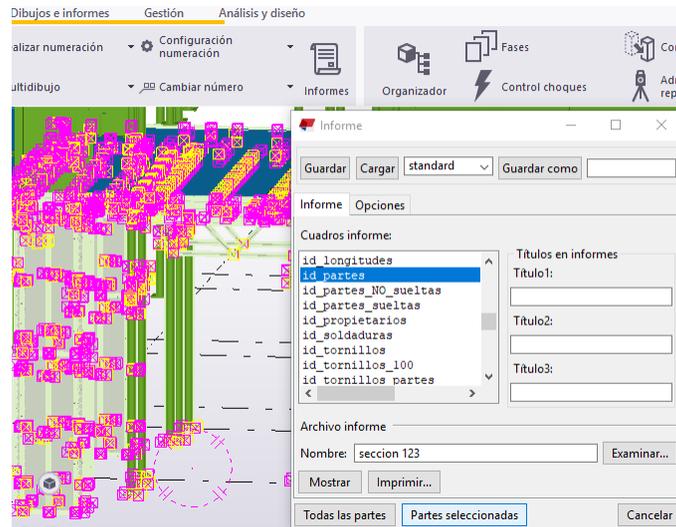
**Imagen 27. Selección de elementos Sección C**



**Fuente: Autores**

Posteriormente en la pestaña de “Dibujo e Informes” se elige la opción de Informes y en los cuadros de informes se selecciona la opción de “id partes”, se condiciona un nombre para el informe y se cargan los elementos preseleccionados en la opción de “partes seleccionadas” para solo cargar los elementos de formaleta de la sección y no los objetos de todo el modelo.

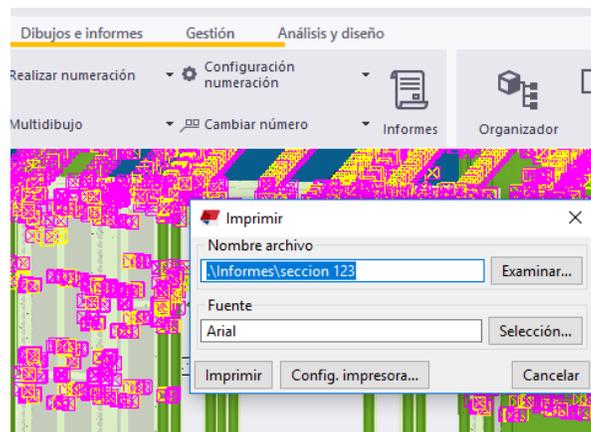
**Imagen 28. Informe id\_partes**



**Fuente: Autores**

Para la creación final del informe se selecciona la opción de imprimir en la ventana de informe para después guardar el archivo en formato PDF, el cual contiene el informe de todas las partes que se seleccionaron.

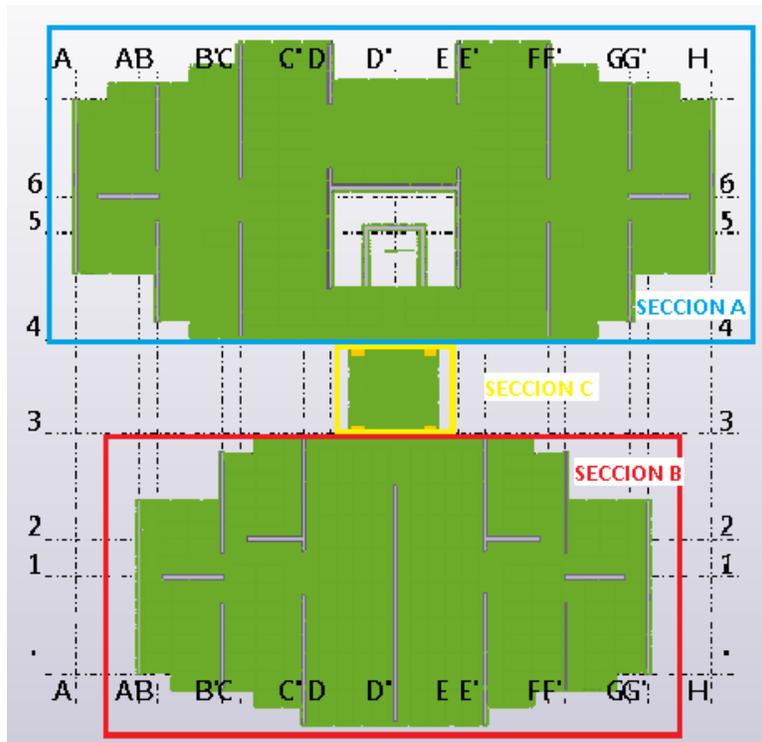
**Imagen 29. Impresión de Informe**



**Fuente: Autores**

Antes de mirar los informes, hay que esclarecer que la edificación se dividió en tres secciones para efectos constructivos, razón por la cual la cuantificación también se hizo por secciones. Las secciones A y B son las más grandes de la edificación, la sección C es la central y más pequeña.

Imagen 30. División de Secciones para cuantificación



Fuente: Autores

### 5.5.1 Cuantificación Sección A

La cuantificación de la formaleta de la sección A se hizo en una hoja de Excel a partir del informe de partes generado previamente.

### Imagen 31. Informe de partes Sección A

LISTADO ID PARTES DE TEKLA STRUCTURES  
Modelo: Modelo 4D

Página: 1  
Proyecto: número proyect  
Fecha: 22.02.2018  
Hora: 15:03:40

ID	Parte	Perfil	Long. (mm)	Material	Reducción	Bloq.	NºInicio
Id: 550063569	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No	
Id: 550063682	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No	
Id: 550063795	Pr0(?)	D12	140	S275JR		No	
Id: 550063908	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id: 550064021	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id: 550064134	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id: 550064247	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id: 550064360	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	
Id: 550064473	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	
Id: 550064586	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	
Id: 550064699	Pr0(?)	D12	359	S275JR		No	
Id: 550064812	Pr0(?)	D12	370	S275JR		No	
Id: 550064925	Pr0(?)	D12	371	S275JR		No	
Id: 550065038	Pr0(?)	D12	353	S275JR		No	
Id: 550065151	Pr0(?)	D12	439	S275JR		No	
Id: 550065264	Pr0(?)	D12	495	S275JR		No	
Id: 550065377	Pr0(?)	D12	462	S275JR		No	

Fuente: Autores

Tabla 12. Cuantificación Tableros Metálicos Sección A

TIPO DE TABLERO	NOMBRE DEL COMPONENTE	CANTIDAD TOTAL
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	18
Tablero 140x500 mm	TM 140x500	0
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	4
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	2
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	4
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	0
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	0
Tablero 320x600 mm	TM 320x600	4
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	28
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	8
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	4
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	0

Tablero 320x700 mm	TM 320x700	4
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	0
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	4
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	1
Tablero 100x900 mm	TM 100x900	7
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	27
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	14
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	4
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	4
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	4
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	4
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	4
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	11
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	10
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	158
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	139
Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	0
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	11
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	0
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	4
Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	0
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	2
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	0
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	2
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	0

Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	4
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	18
Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	0
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	0
Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	7
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	22
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	0
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	6
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	3
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	6
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	8
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	8
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	8
Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	14
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	78
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	239
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	4
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>911</b>

Fuente: Autores

Tabla 13. Cuantificación de Rinconeras Sección A

<b>TIPO DE RINCONERA</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	29

Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	0
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	14
Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	12
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	12
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	4
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	8
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	6
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	6
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	2
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	0
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	19
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	0
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	59
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>171</b>

Fuente: Autores

Tabla 14. Cuantificación de elementos Apuntalamiento Sección A

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Cercha	CERCHA 1500	66
Paral	PARAL	115

Fuente: Autores

**Tabla 15. Cuantificación Tapamuros Sección A**

<b>TIPO DE TAPAMURO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Tapamuro 120x1000 mm	Tapamuro 120x1000	0
Tapamuro 120x1100 mm	Tapamuro 120x1100	4
Tapamuro 200x1100 mm	Tapamuro 200x1100	0
Tapamuro 120x1200 mm	Tapamuro 120x1200	16
Tapamuro 150x1200 mm	Tapamuro 150x1200	4
Tapamuro 200x1200 mm	Tapamuro 200x1200	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>24</b>

Fuente: Autores

**Tabla 16. Cuantificación Ángulos Sección A**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Angulo 320 mm	ANG 320	0
Angulo 350 mm	ANG 350	0
Angulo 500 mm	ANG 500	15
Angulo 700 mm	ANG 700	0
Angulo 900 mm	ANG 900	12
Angulo 1000 mm	ANG 1000	13
Angulo 1100 mm	ANG 1100	82
Angulo 1200 mm	ANG 1200	28
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>150</b>

Fuente: Autores

## 5.5.2 Cuantificación Sección B

La cuantificación de la formaleta de la sección B se hizo en una hoja de Excel a partir del informe de partes generado previamente

**Imagen 32. Informe Parte Sección B**

LISTADO ID PARTES DE TEKLA STRUCTURES							Página: 1	
Modelo: Modelo 4D							Proyecto: número proyect	
							Fecha: 22.02.2018	
							Hora: 16:02:32	
ID	Parte	Perfil	Long. (mm)	Material	Reducción	Bloq.	Nº Inicio	
Id:549771440	Pr0(?)	D12	55	S275JR		No		
Id:549771553	Pr0(?)	D12	100	S275JR		No		
Id:549771666	Pr0(?)	D12	55	S275JR		No		
Id:549771779	Pr0(?)	D12	58	S275JR		No		
Id:549771892	Pr0(?)	D12	102	S275JR		No		
Id:549772005	Pr0(?)	D12	58	S275JR		No		
Id:549772639	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No		
Id:549772752	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No		
Id:549772865	Pr0(?)	D12	140	S275JR		No		
Id:549772978	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No		
Id:549773091	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No		
Id:549773204	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No		
Id:549773317	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No		
Id:549773430	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No		
Id:549773543	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No		
Id:549773656	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No		
Id:549773769	Pr0(?)	D12	359	S275JR		No		

Fuente: Autores

**Tabla 17. Cuantificación Tableros Metálicos Sección B**

TIPO DE TABLERO	NOMBRE DEL COMPONENTE	CANTIDAD TOTAL
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	17
Tablero 140x500 mm	TM 140x500	0
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	8
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	2
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	4
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	0
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	0

Tablero 320x600 mm	TM 320x600	2
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	2
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	38
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	6
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	0
Tablero 320x700 mm	TM 320x700	0
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	0
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	0
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	0
Tablero 100x900 mm	TM 100x900	4
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	24
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	10
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	23
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	2
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	2
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	5
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	4
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	0
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	6
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	30
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	209
Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	4
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	4
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	0
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	2

Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	0
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	0
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	0
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	4
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	0
Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	0
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	16
Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	1
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	0
Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	2
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	14
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	0
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	14
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	2
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	2
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	6
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	4
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	12
Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	9
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	73
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	183
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	0
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	1
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>751</b>

Fuente: Autores

**Tabla 18. Cuantificación Rinconeras Sección B**

<b>TIPO DE RINCONERA</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	22
Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	0
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	10
Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	8
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	4
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	4
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	6
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	7
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	4
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	2
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	0
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	15
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	0
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	62
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>144</b>

Fuente: Autores

**Tabla 19. Cuantificación elementos de Apuntalamiento Sección B**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Cercha	CERCHA 1500	50
Paral	PARAL	108

Fuente: Autores

**Tabla 20. Cuantificación Tapamuros Sección B**

<b>TIPO DE TAPAMURO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Tapamuro 120x1000 mm	Tapamuro 120x1000	0
Tapamuro 120x1100 mm	Tapamuro 120x1100	4
Tapamuro 200x1100 mm	Tapamuro 200x1100	0
Tapamuro 120x1200 mm	Tapamuro 120x1200	16
Tapamuro 150x1200 mm	Tapamuro 150x1200	0
Tapamuro 200x1200 mm	Tapamuro 200x1200	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>20</b>

Fuente: Autores

**Tabla 21. Cuantificación Ángulos Sección B**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Angulo 320 mm	ANG 320	0
Angulo 350 mm	ANG 350	0
Angulo 500 mm	ANG 500	18
Angulo 700 mm	ANG 700	0
Angulo 900 mm	ANG 900	8
Angulo 1000 mm	ANG 1000	14
Angulo 1100 mm	ANG 1100	66
Angulo 1200 mm	ANG 1200	14
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>120</b>

Fuente: Autores

### 5.5.3 Cuantificación Sección C

La cuantificación de la formaleta de la sección C se hizo en una hoja de Excel a partir del informe de partes generado previamente.

**Imagen 33. Informe Partes Sección C**

LISTADO ID PARTES DE TEKLA STRUCTURES							Página: 1
Modelo:Modelo 4D							Proyecto: número proyect
							Fecha: 26.02.2018
							Hora: 15:04:12
ID	Parte	Perfil	Long. (mm)	Material	Reducción	Bloq.	N°Inicio
Id:550342882	Pr0(?)	D12	55	S275JR		No	
Id:550342995	Pr0(?)	D12	100	S275JR		No	
Id:550343108	Pr0(?)	D12	55	S275JR		No	
Id:550343221	Pr0(?)	D12	58	S275JR		No	
Id:550343334	Pr0(?)	D12	102	S275JR		No	
Id:550343447	Pr0(?)	D12	58	S275JR		No	
Id:550344081	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No	
Id:550344194	Pr0(?)	D12	1340	S275JR		No	
Id:550344307	Pr0(?)	D12	140	S275JR		No	
Id:550344420	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id:550344533	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id:550344646	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id:550344759	Pr0(?)	D12	350	S275JR		No	
Id:550344872	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	
Id:550344985	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	
Id:550345098	Pr0(?)	D12	128	S275JR		No	

Fuente: Autores

**Tabla 22. Cuantificación Tableros Metálicos Sección C**

TIPO DE TABLERO	NOMBRE DEL COMPONENTE	CANTIDAD TOTAL
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	0
Tablero 140x500 mm	TM 140x500	2
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	0
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	6
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	0
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	0
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	0

Tablero 320x600 mm	TM 320x600	0
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	0
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	0
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	0
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	0
Tablero 320x700 mm	TM 320x700	0
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	0
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	0
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	0
Tablero 100x900 mm	TM 100x900	0
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	2
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	0
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	0
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	0
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	0
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	6
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	0
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	12
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	0
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	0
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	0
Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	0
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	4
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	0
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	0

Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	0
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	0
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	0
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	4
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	0
Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	0
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	0
Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	0
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	0
Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	0
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	0
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	0
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	0
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	0
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	0
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	12
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	0
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	16
Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	0
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	2
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	0
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	0
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>66</b>

Fuente: Autores

**Tabla 23. Cuantificación Rinconeras Sección C**

<b>TIPO DE RINCONERA</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	4
Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	0
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	0
Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	6
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	2
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	2
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	0
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	0
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	0
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	0
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	0
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	0
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	0
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>14</b>

Fuente: Autores

**Tabla 24. Cuantificación elementos de Apuntalamiento Sección C**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Cercha	CERCHA 1500	8
Paral	PARAL	16

Fuente: Autores

**Tabla 25. Cuantificación Tapamuros Sección C**

<b>TIPO DE TAPAMURO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Tapamuro 120x1000 mm	Tapamuro 120x1000	0
Tapamuro 120x1100 mm	Tapamuro 120x1100	0
Tapamuro 200x1100 mm	Tapamuro 200x1100	0
Tapamuro 120x1200 mm	Tapamuro 120x1200	0
Tapamuro 150x1200 mm	Tapamuro 150x1200	0
Tapamuro 200x1200 mm	Tapamuro 200x1200	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>0</b>

Fuente: Autores

**Tabla 26. Cuantificación Ángulos Sección C**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Angulo 320 mm	ANG 320	0
Angulo 350 mm	ANG 350	0
Angulo 500 mm	ANG 500	0
Angulo 700 mm	ANG 700	0
Angulo 900 mm	ANG 900	0
Angulo 1000 mm	ANG 1000	0
Angulo 1100 mm	ANG 1100	32
Angulo 1200 mm	ANG 1200	0
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>32</b>

Fuente: Autores

#### 5.5.4 Cuantificación Total

Esta sección está compuesta por tablas donde aparece la cantidad total de formaleta que corresponde a la suma de los elementos de las tres secciones A, B, C. Además, se encuentra el cálculo total del área de formaleta requerida para el sistema de encofrado elegido.

**Tabla 27. Cuantificación Total de Tableros Metálicos**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE COMPONENTE</b>	<b>CANT. SECCION A</b>	<b>CANT. SECCION B</b>	<b>CANT. SECCION C</b>	<b>CANT. TOTAL</b>
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	18	17	0	<b>35</b>
Tablero 140x500 mm	TM 140x500	0	0	2	<b>2</b>
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	4	8	0	<b>12</b>
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	2	2	6	<b>10</b>
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	4	4	0	<b>8</b>
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 320x600 mm	TM 320x600	4	2	0	<b>6</b>
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	28	2	0	<b>30</b>
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	8	38	0	<b>46</b>
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	4	6	0	<b>10</b>
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 320x700 mm	TM 320x700	4	0	0	<b>4</b>
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	4	0	0	<b>4</b>
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	1	0	0	<b>1</b>

Tablero 100x900 mm	TM 100x900	7	4	0	<b>11</b>
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	27	24	2	<b>53</b>
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	14	10	0	<b>24</b>
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	4	23	0	<b>27</b>
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	4	2	0	<b>6</b>
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	4	2	0	<b>6</b>
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	4	5	6	<b>15</b>
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	4	4	0	<b>8</b>
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	11	0	12	<b>23</b>
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	10	6	0	<b>16</b>
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	158	30	0	<b>188</b>
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	139	209	0	<b>348</b>
Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	0	4	0	<b>4</b>
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	11	4	4	<b>19</b>
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	4	2	0	<b>6</b>
Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	2	0	0	<b>2</b>
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	2	4	4	<b>10</b>
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	4	0	0	<b>4</b>
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	18	16	0	<b>34</b>
Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	0	1	0	<b>1</b>
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	0	0	0	<b>0</b>

Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	7	2	0	<b>9</b>
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	22	14	0	<b>36</b>
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	6	14	0	<b>20</b>
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	3	2	0	<b>5</b>
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	6	2	0	<b>8</b>
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	8	6	12	<b>26</b>
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	8	4	0	<b>12</b>
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	8	12	16	<b>36</b>
Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	14	9	0	<b>23</b>
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	78	73	2	<b>153</b>
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	239	183	0	<b>422</b>
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	4	0	0	<b>4</b>
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	0	1	0	<b>1</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>911</b>	<b>751</b>	<b>66</b>	<b>1728</b>

Fuente: Autores

Tabla 28. Cuantificación Total Área de Formaleta

<b>NOMBRE DEL ELEM.</b>	<b>NOMBRE COMPONENTE</b>	<b>AREA DEL ELEM. (m2)</b>	<b>AREA FORMA LETA SECCION A (m2)</b>	<b>AREA FORMA LETA SECCION B (m2)</b>	<b>AREA FORMALETA SECCION C (m2)</b>	<b>AREA TOTAL FORMA LETA (m2)</b>
Tablero 100x500 mm	TM 100x500	0.05	0.9	0.85	0	<b>1.75</b>

Tablero 140x500 mm	TM 140x500	0.07	0	0	0.14	<b>0.14</b>
Tablero 200x500 mm	TM 200x500	0.1	0.4	0.8	0	<b>1.2</b>
Tablero 320x500 mm	TM 320x500	0.16	0.32	0.32	0.96	<b>1.6</b>
Tablero 350x500 mm	TM 350x500	0.175	0.7	0.7	0	<b>1.4</b>
Tablero 400x500 mm	TM 400x500	0.2	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x600 mm	TM 200x600	0.12	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 320x600 mm	TM 320x600	0.192	0.768	0.384	0	<b>1.152</b>
Tablero 400x600 mm	TM 400x600	0.24	6.72	0.48	0	<b>7.2</b>
Tablero 500x600 mm	TM 500x600	0.3	2.4	11.4	0	<b>13.8</b>
Tablero 100x620 mm	TM 100x620	0.062	0.248	0.372	0	<b>0.62</b>
Tablero 100x650 mm	TM 100x650	0.065	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 320x700 mm	TM 320x700	0.224	0.896	0	0	<b>0.896</b>
Tablero 100x700 mm	TM 100x700	0.07	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x700 mm	TM 200x700	0.14	0.56	0	0	<b>0.56</b>
Tablero 350x740 mm	TM 350x740	0.259	0.259	0	0	<b>0.259</b>

Tablero 100x900 mm	TM 100x900	0.09	0.63	0.36	0	<b>0.99</b>
Tablero 100x1000 mm	TM 100x1000	0.1	2.7	2.4	0.2	<b>5.3</b>
Tablero 120x1000 mm	TM 120x1000	0.12	1.68	1.2	0	<b>2.88</b>
Tablero 200x1000 mm	TM 200x1000	0.2	0.8	4.6	0	<b>5.4</b>
Tablero 250x1000 mm	TM 250x1000	0.25	1	0.5	0	<b>1.5</b>
Tablero 300x1000 mm	TM 300x1000	0.3	1.2	0.6	0	<b>1.8</b>
Tablero 320x1000 mm	TM 320x1000	0.32	1.28	1.6	1.92	<b>4.8</b>
Tablero 350x1000 mm	TM 350x1000	0.35	1.4	1.4	0	<b>2.8</b>
Tablero 400x1000 mm	TM 400x1000	0.4	4.4	0	4.8	<b>9.2</b>
Tablero 450x1000 mm	TM 450x1000	0.45	4.5	2.7	0	<b>7.2</b>
Tablero 500x1000 mm	TM 500x1000	0.5	79	15	0	<b>94</b>
Tablero 600x1000 mm	TM 600x1000	0.6	83.4	125.4	0	<b>208.8</b>

Tablero 650x1000 mm	TM 650x1000	0.65	0	2.6	0	<b>2.6</b>
Tablero 100x1100 mm	TM 100x1100	0.11	1.21	0.44	0.44	<b>2.09</b>
Tablero 120x1100 mm	TM 120x1100	0.132	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x1100 mm	TM 200x1100	0.22	0.88	0.44	0	<b>1.32</b>
Tablero 250x1100 mm	TM 250x1100	0.275	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 300x1100 mm	TM 300x1100	0.33	0.66	0	0	<b>0.66</b>
Tablero 350x1100 mm	TM 350x1100	0.385	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 400x1100 mm	TM 400x1100	0.44	0.88	1.76	1.76	<b>4.4</b>
Tablero 450x1100 mm	TM 450x1100	0.495	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 500x1100 mm	TM 500x1100	0.55	2.2	0	0	<b>2.2</b>
Tablero 600x1100 mm	TM 600x1100	0.66	11.88	10.56	0	<b>22.44</b>

Tablero 350x1120 mm	TM 350x1120	0.392	0	0.392	0	<b>0.392</b>
Tablero 100x1150 mm	TM 100x1150	0.115	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 100x1200 mm	TM 100x1200	0.12	0.84	0.24	0	<b>1.08</b>
Tablero 120x1200 mm	TM 120x1200	0.144	3.168	2.016	0	<b>5.184</b>
Tablero 150x1200 mm	TM 150x1200	0.18	0	0	0	<b>0</b>
Tablero 200x1200 mm	TM 200x1200	0.24	1.44	3.36	0	<b>4.8</b>
Tablero 250x1200 mm	TM 250x1200	0.3	0.9	0.6	0	<b>1.5</b>
Tablero 300x1200 mm	TM 300x1200	0.36	2.16	0.72	0	<b>2.88</b>
Tablero 320x1200 mm	TM 320x1200	0.384	3.072	2.304	4.608	<b>9.984</b>
Tablero 350x1200 mm	TM 350x1200	0.42	3.36	1.68	0	<b>5.04</b>
Tablero 400x1200 mm	TM 400x1200	0.48	3.84	5.76	7.68	<b>17.28</b>

Tablero 450x1200 mm	TM 450x1200	0.54	7.56	4.86	0	<b>12.42</b>
Tablero 500x1200 mm	TM 500x1200	0.6	46.8	43.8	1.2	<b>91.8</b>
Tablero 600x1200 mm	TM 600x1200	0.72	172.08	131.76	0	<b>303.84</b>
Tablero 650x1200 mm	TM 650x1200	0.78	3.12	0	0	<b>3.12</b>
Tablero 320x1250 mm	TM 320x1250	0.4	0	0.4	0	<b>0.4</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		-	<b>462.211</b>	<b>384.758</b>	<b>23.708</b>	<b>870.677</b>

Fuente: Autores

Tabla 29. Cuantificación Total Rinconeras

<b>TIPO DE RINCONERA</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANT. SECCION A</b>	<b>CANT. SECCION B</b>	<b>CANT. SECCION C</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	29	22	4	<b>55</b>
Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	0	0	0	<b>0</b>
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	14	10	0	<b>24</b>

Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	12	8	6	<b>26</b>
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	12	4	2	<b>18</b>
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	4	4	2	<b>10</b>
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	8	6	0	<b>14</b>
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	6	7	0	<b>13</b>
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	6	4	0	<b>10</b>
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	2	2	0	<b>4</b>
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	0	0	0	<b>0</b>
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	19	15	0	<b>34</b>
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	0	0	0	<b>0</b>
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	59	62	0	<b>121</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>171</b>	<b>144</b>	<b>14</b>	<b>329</b>

Fuente: Autores

**Tabla 30. Cuantificación Total Elementos de Apuntalamiento**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE COMPONENTE</b>	<b>CANT. SECCION A</b>	<b>CANT. SECCION B</b>	<b>CANT. SECCION C</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Cercha	CERCHA 1500	66	50	8	<b>124</b>
Paral	PARAL	115	108	16	<b>239</b>

Fuente: Autores

**Tabla 31. Cuantificación Total Tapamuros**

<b>TIPO DE TAPAMURO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANT. SECCION A</b>	<b>CANT. SECCION B</b>	<b>CANT. SECCION C</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Tapamuro 120x1000 mm	Tapamuro 120x1000	0	0	0	<b>0</b>
Tapamuro 120x1100 mm	Tapamuro 120x1100	4	4	0	<b>8</b>
Tapamuro 200x1100 mm	Tapamuro 200x1100	0	0	0	<b>0</b>
Tapamuro 120x1200 mm	Tapamuro 120x1200	16	16	0	<b>32</b>
Tapamuro 150x1200 mm	Tapamuro 150x1200	4	0	0	<b>4</b>
Tapamuro 200x1200 mm	Tapamuro 200x1200	0	0	0	<b>0</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>24</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>44</b>

Fuente: Autores

**Tabla 32. Cuantificación Total Ángulos**

<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPONENTE</b>	<b>CANT. SECCION A</b>	<b>CANT. SECCION B</b>	<b>CANT. SECCION C</b>	<b>CANTIDAD TOTAL</b>
Angulo 320 mm	ANG 320	0	0	0	<b>0</b>
Angulo 350 mm	ANG 350	0	0	0	<b>0</b>
Angulo 500 mm	ANG 500	15	18	0	<b>33</b>
Angulo 700 mm	ANG 700	0	0	0	<b>0</b>
Angulo 900 mm	ANG 900	12	8	0	<b>20</b>
Angulo 1000 mm	ANG 1000	13	14	0	<b>27</b>
Angulo 1100 mm	ANG 1100	82	66	32	<b>180</b>
Angulo 1200 mm	ANG 1200	28	14	0	<b>42</b>
<b>CANTIDAD TOTAL</b>		<b>150</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>302</b>

Fuente: Autores

## **5.6 MODELO 4D**

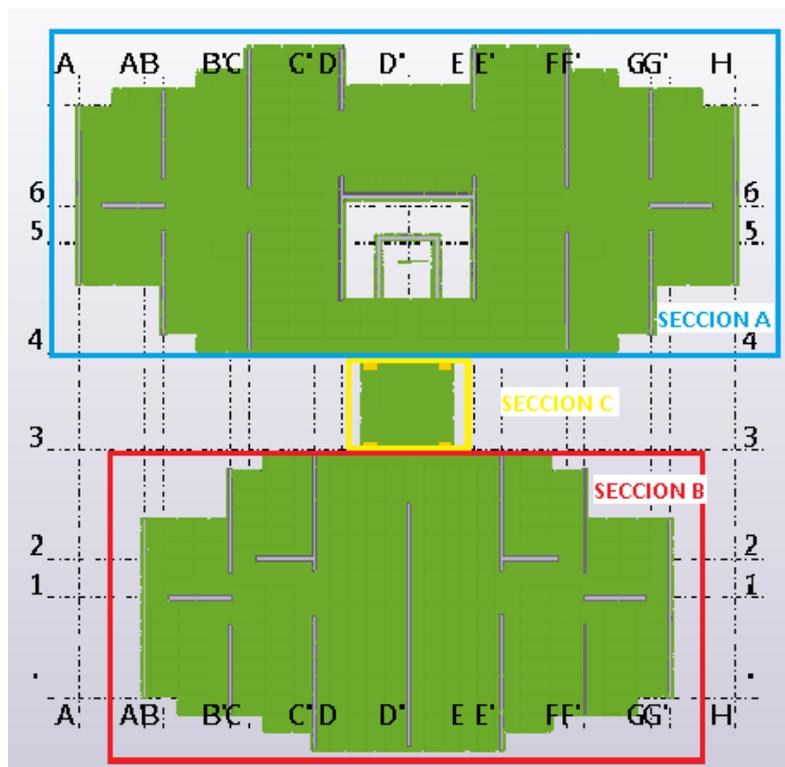
El desarrollo del modelo 4D requiere de una estructuración de las actividades en el tiempo, es decir que el primer paso es hacer una programación de las actividades de colocación de la formaleta y la fundida de elementos en concreto. La programación se realiza en Tekla Structures usando la herramienta de Gestión de Tareas. Posteriormente, la programación se usa como base

para la simulación y visualización de las actividades, empleando herramientas de representación de objetos y estado de visualización del proyecto.

### 5.6.1 Programación de actividades en Tekla Structures

La herramienta Gestión de Tareas facilito la programación de actividades para la realización del proyecto. En primer lugar, se estableció el proceso constructivo que debería seguir la edificación, llegando a la conclusión de que las dos partes más grandes de la edificación, sección A y B, visibles en la siguiente imagen, se encofraran simultáneamente, para luego encofrar la sección intermedia, llamada sección C que conecta a ambas partes, y así completar un piso entero.

Imagen 34. División por secciones para la programación



Fuente: Autores

Vale decir que el proceso constructivo detallado que se sigue es el que se enumera a continuación.

1. Disposición de la formaleta para muros y placa de la sección A y B del primer piso.
2. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección A del primer piso.
3. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección B del primer piso.
4. Desencofrado formaleta sección A y B del primer piso.
5. Repuntalamiento sección A y B del primer piso.
6. Desapuntalado sección A y B del primer piso.
7. Disposición de la formaleta para columnas y placa de la sección C para el primer piso.
8. Fundida de columnas y placas de concreto de la sección C del primer piso.
9. Desencofrado formaleta sección C del primer piso.
10. Repuntalamiento sección C del primer piso.
11. Desapuntalado sección C del primer piso.
12. Disposición de la formaleta para muros y placa de la sección A y B del segundo piso.
13. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección A del segundo piso.
14. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección B del segundo piso.
15. Desencofrado formaleta sección A y B del segundo piso.
16. Repuntalamiento sección A y B del segundo piso.
17. Desapuntalado sección A y B del segundo piso.

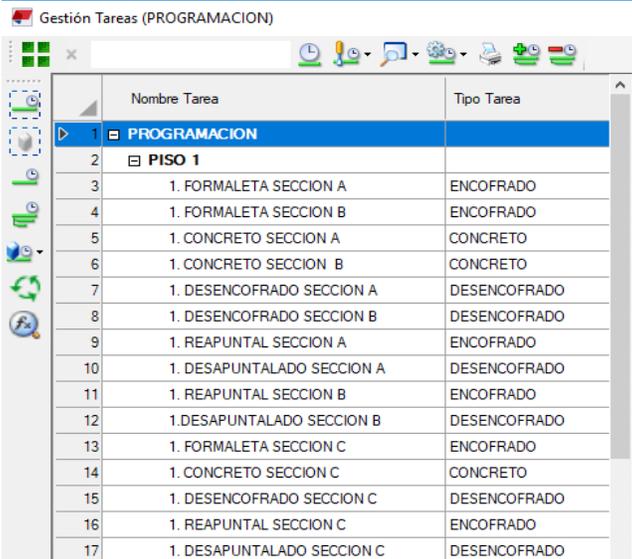
18. Disposición de la formaleta para columnas y placa de la sección C para el segundo piso.
19. Fundida de columnas y placas de concreto de la sección C del segundo piso.
20. Desencofrado formaleta sección C del segundo r piso.
21. Repuntalamiento sección C del segundo piso.
22. Desapuntalado sección C del segundo piso.
23. Disposición de la formaleta para muros y placa de la sección A y B del tercer piso.
24. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección A del tercer piso.
25. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección B del tercer piso.
26. Desencofrado formaleta sección A y B del tercer piso.
27. Repuntalamiento sección A y B del tercer piso.
28. Desapuntalado sección A y B del tercer piso.
29. Disposición de la formaleta para columnas y placa de la sección C para el tercer piso.
30. Fundida de columnas y placas de concreto de la sección C del tercer piso.
31. Desencofrado formaleta sección C del tercer piso.
32. Repuntalamiento sección C del tercer piso.
33. Desapuntalado sección C del tercer piso.
34. Disposición de la formaleta para muros y placa de la sección A y B del cuarto piso.
35. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección A del cuarto piso.

36. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección B del cuarto piso.
37. Desencofrado formaleta sección A y B del cuarto piso.
38. Repuntalamiento sección A y B del cuarto piso.
39. Desapuntalado sección A y B del cuarto piso.
40. Disposición de la formaleta para columnas y placa de la sección C para el cuarto piso.
41. Fundida de columnas y placas de concreto de la sección C del cuarto piso.
42. Desencofrado formaleta sección C del cuarto piso.
43. Repuntalamiento sección C del cuarto piso.
44. Desapuntalado sección C del cuarto piso.
45. Disposición de la formaleta para muros y placa de la sección A y B del quinto piso.
46. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección A del quinto piso.
47. Fundida de los muros y placas de concreto de la sección B del quinto piso.
48. Desencofrado formaleta sección A y B del quinto piso.
49. Repuntalamiento sección A y B del quinto piso.
50. Desapuntalado sección A y B del quinto piso.
51. Disposición de la formaleta para columnas y placa de la sección C para el quinto piso.
52. Fundida de columnas y placas de concreto de la sección C del quinto piso.
53. Desencofrado formaleta sección C del quinto piso.
54. Repuntalamiento sección C del quinto piso.

55. Desapuntalado sección C del quinto piso.

Llegado a este punto, se inicia con la configuración de la programación con Gestión de Tareas en Tekla Structures. En principio, se establecen los días laborales y la cantidad de horas que se van a trabajar en el día. Realizada esta configuración se crean las tareas y subtareas si se requieren, es decir que algunas tareas pueden estar dentro de un grupo específico de actividades. Como se mencionó anteriormente cada piso se divide en secciones y por tanto las actividades también.

**Imagen 35. Grupo de tareas para la programación**



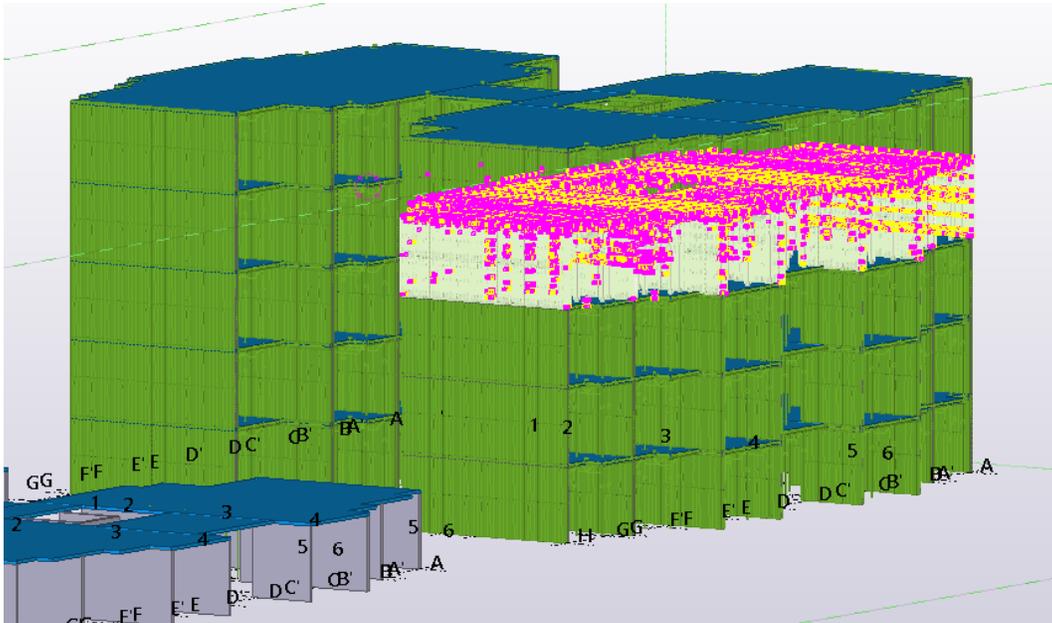
	Nombre Tarea	Tipo Tarea
1	PROGRAMACION	
2	PISO 1	
3	1. FORMALETA SECCION A	ENCOFRADO
4	1. FORMALETA SECCION B	ENCOFRADO
5	1. CONCRETO SECCION A	CONCRETO
6	1. CONCRETO SECCION B	CONCRETO
7	1. DESENCOFRADO SECCION A	DESENCOFRADO
8	1. DESENCOFRADO SECCION B	DESENCOFRADO
9	1. REAPUNTAL SECCION A	ENCOFRADO
10	1. DESAPUNTALADO SECCION A	DESENCOFRADO
11	1. REAPUNTAL SECCION B	ENCOFRADO
12	1. DESAPUNTALADO SECCION B	DESENCOFRADO
13	1. FORMALETA SECCION C	ENCOFRADO
14	1. CONCRETO SECCION C	CONCRETO
15	1. DESENCOFRADO SECCION C	DESENCOFRADO
16	1. REAPUNTAL SECCION C	ENCOFRADO
17	1. DESAPUNTALADO SECCION C	DESENCOFRADO

**Fuente: Autores**

Seguidamente se enlazan los objetos con su correspondiente tarea, el procedimiento mencionado tarda un poco, debido a la complejidad que conlleva seleccionar cada parte de los componentes que forman el sistema de encofrado, puesto que no se pueden seleccionar como componentes porque no permitiría definir una fecha de montaje inicial y final, lo que afectaría la

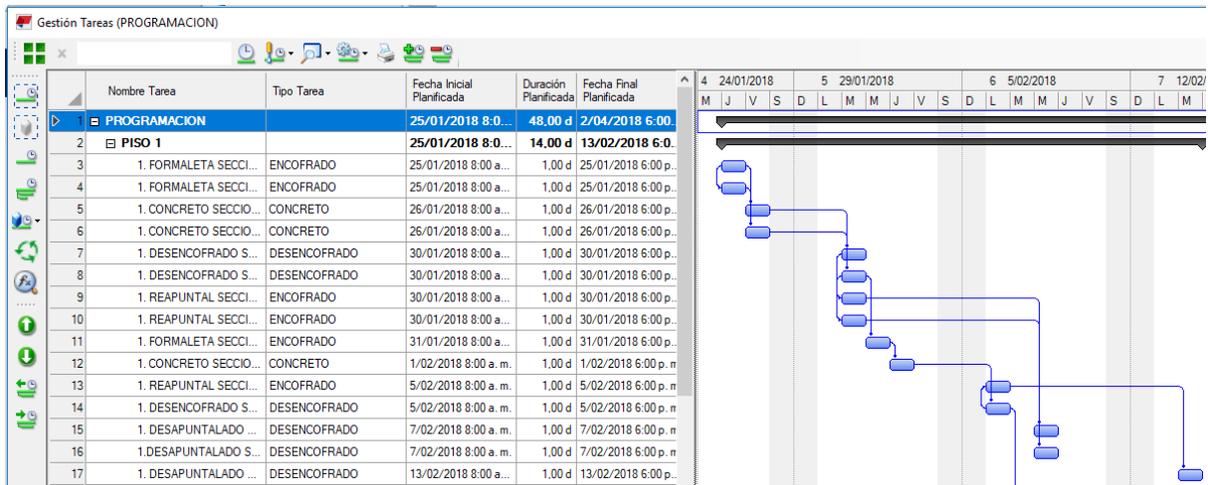
simulación 4D. Para verificar que se hayan añadido los objetos debe aparecer la barra de la tarea en el diagrama con relleno de color azul.

**Imagen 36. Selección de elementos sección A del cuarto piso**



Fuente: Autores

**Imagen 37. Objetos añadidos a las tareas**



Fuente: Autores

Cuando se tenga plena seguridad de que los objetos enlazados a cada tarea son los correctos, se establece la duración y secuencia de las actividades configurando las dependencias entre las tareas, se define el modo de planificación como inicio y final fijo, el cual va a permitir que la duración de la tarea se mantenga siempre, sin importar que se añadan o eliminen objetos, lo único que cambia es la productividad. En otras palabras, la duración planificada para cada tarea se mantendrá, pero el programa calculará la productividad dependiendo del tipo de tarea y de los objetos asignados a la misma. La duración del armado del sistema de encofrado de cada sección es de un día y lo mismo ocurre para el proceso de desencofrado, esto asumiendo que se cuenta con la mano de obra requerida para ello. La estimación los recursos humanos se hace a partir del análisis de los rendimientos para las actividades de encofrado proporcionados por la investigación del Arquitecto Luis Fernando Botero Botero, el artículo está publicado en la Revista Universidad EAFIT No. 128, bajo el nombre, Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. En dicha publicación se encuentra una tabla con los resultados de consumos estándar en actividades de construcción con un intervalo de confianza del 90% [23], de allí se extrajeron los siguientes datos de rendimientos para el armado de encofrado.

**Imagen 38. Rendimientos de formaleta**

ACTIVIDAD	UD	OBRERO	RANGO CONSUMO (hH. /ud)					
			CONSUMO INDIVIDUAL			CONSUMO CUADRILLA		
			Alto	Promedio	Bajo	Alto	Promedio	Bajo
Armado de losa formaleta metálica	m <sup>2</sup>	Oficial	0.2438	0.2315	0.219	0.659633	0.617597	0.57536
		Ayudante	0.415833	0.386097	0.35636			

**Fuente: “Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción”,**

**Luis Fernando Botero.**

Con esta información se conformaron dos tipos de cuadrilla, la tipo A compuesta por un oficial y dos ayudantes, la tipo B compuesta por un oficial y un ayudante, para cada una se calcularon los metros cuadrados que arman en un día y teniendo el área a encofrar de cada sección, se establecieron la cantidad de cuadrillas de cada tipo por sección. De manera que se define la cantidad de personal necesario para llevar a cabo la actividad de encofrado en un día por sección. Todo lo mencionado anteriormente se resume en las tablas que se muestran a continuación.

**Tabla 33. Rendimientos por cuadrillas**

Rendimiento Oficial armado de losa formaleta metálica (h/m <sup>2</sup> )	0.2315
Rendimiento Ayudante armado de losa formaleta metálica (h/m <sup>2</sup> )	0.386097
Rendimiento 2 Ayudantes armado de losa formaleta metálica (h/m <sup>2</sup> )	0.193049
Rendimiento Cuadrilla Tipo A (1 Of + 2 Ay) armado de losa formaleta metálica (h/m <sup>2</sup> )	0.424549
Rendimiento Cuadrilla Tipo B (1 Of + 1 Ay) armado de losa formaleta metálica (h/m <sup>2</sup> )	0.617597
Rendimiento Cuadrilla Tipo A (1 Of + 2 Ay) armado de losa formaleta metálica (m <sup>2</sup> /día)	18.84355
Rendimiento Cuadrilla Tipo B (1 Of + 1 Ay) armado de losa formaleta metálica (m <sup>2</sup> /día)	12.95343

Fuente: Autores

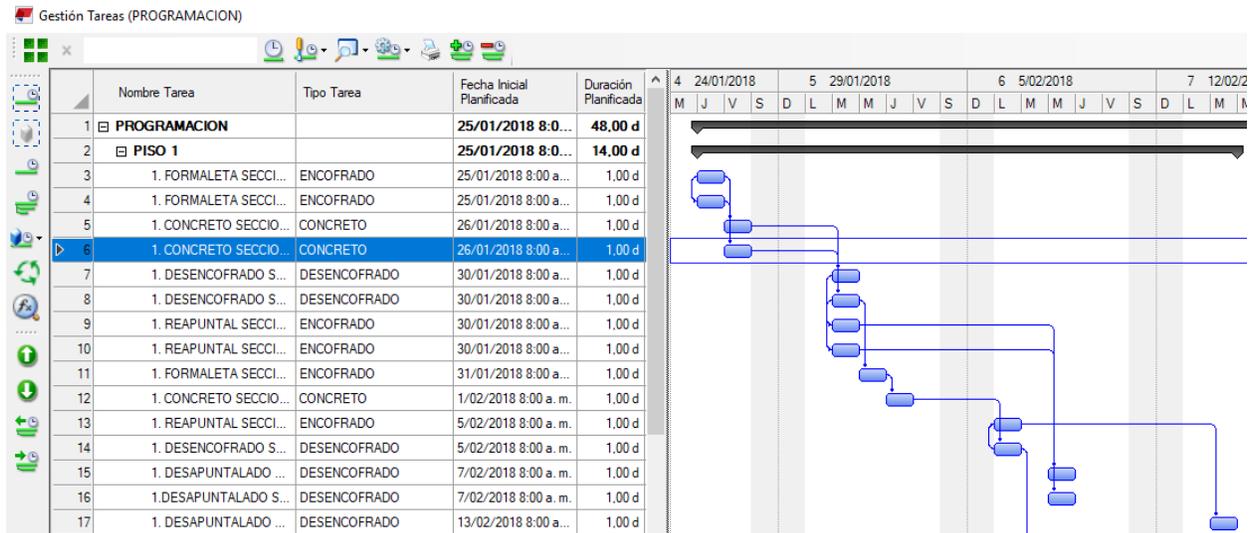
**Tabla 34. Estimación de mano de obra**

	<b>Sección A</b>	<b>Sección B</b>	<b>Sección C</b>
<b>Área a Encofrar</b>	480.69	406.71	24.01
<b>Duración Encofrado (Días)</b>	1.00	1.00	1.00
<b>Cantidad de cuadrillas Tipo A (1 Of + 2 Ay)</b>	26	22	1

<b>Cantidad de cuadrillas Tipo B (1 Of + 1 Ay)</b>	37	31	2
<b>Cantidad de Oficiales cuadrillas Tipo A (1 Of + 2 Ay)</b>	26	22	1
<b>Cantidad de Ayudantes cuadrillas Tipo A (1 Of + 2 Ay)</b>	51	43	3
<b>Cantidad de Oficiales cuadrillas Tipo B (1 Of + 1 Ay)</b>	37	31	2
<b>Cantidad de Ayudantes cuadrillas Tipo B (1 Of + 1 Ay)</b>	37	31	2

Fuente: Autores

Imagen 39. Tareas con duraciones planificadas



Fuente: Autores

Imagen 40. Tareas con dependencias

**Gestión Tareas (PROGRAMACION)**

Nombre Tarea	Tipo Tarea	Fecha Inicial Planificada
1 PROGRAMACION		25/01/2018 8:0...
2 PISO 1		25/01/2018 8:0...
3 1. FORMALETA SECCION A	ENCOFRADO	25/01/2018 8:00 a...
4 1. FORMALETA SECCION B	ENCOFRADO	25/01/2018 8:00 a...
5 1. CONCRETO SECCION A	CONCRETO	26/01/2018 8:00 a...
6 1. CONCRETO SECCION B	CONCRETO	26/01/2018 8:00 a...
7 1. DESENCOFRADO SECCION A	DESENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...
8 1. DESENCOFRADO SECCION B	DESENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...

**Información Tarea**

General | Planificación | Seguimiento | Objetos | Dependencias | Información Adicional

Nombre Tarea	Tipo	Unidad	Retraso
1. FORMALETA SECCION B	Finalizar-para-Iniciar (FI)	días	0

Fuente: Autores

Imagen 41. Modo de planificación de tareas

**Gestión Tareas (PROGRAMACION)**

Nombre Tarea	Tipo Tarea	Fecha Inicial Planificada	Duración Planificada	Fecha Final Planificada	Modo de planificación
1 PROGRAMACION		25/01/2018 8:0...	48,00 d	2/04/2018 6:00...	Inicio y final fijos
2 PISO 1		25/01/2018 8:0...	14,00 d	13/02/2018 6:0...	Inicio y final fijos
3 1. FORMALETA SECCION A	ENCOFRADO	25/01/2018 8:00 a...	1,00 d	25/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
4 1. FORMALETA SECCION B	ENCOFRADO	25/01/2018 8:00 a...	1,00 d	25/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
5 1. CONCRETO SECCION A	CONCRETO	26/01/2018 8:00 a...	1,00 d	26/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
6 1. CONCRETO SECCION B	CONCRETO	26/01/2018 8:00 a...	1,00 d	26/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
7 1. DESENCOFRADO SECCION A	DESENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...	1,00 d	30/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
8 1. DESENCOFRADO SECCION B	DESENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...	1,00 d	30/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
9 1. REAPUNTAL SECCION A	ENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...	1,00 d	30/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
10 1. REAPUNTAL SECCION B	ENCOFRADO	30/01/2018 8:00 a...	1,00 d	30/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
11 1. FORMALETA SECCION C	ENCOFRADO	31/01/2018 8:00 a...	1,00 d	31/01/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos
12 1. CONCRETO SECCION C	CONCRETO	1/02/2018 8:00 a. m.	1,00 d	1/02/2018 6:00 p. m.	Inicio y final fijos
13 1. REAPUNTAL SECCION C	ENCOFRADO	5/02/2018 8:00 a. m.	1,00 d	5/02/2018 6:00 p. m.	Inicio y final fijos
14 1. DESENCOFRADO SECCION C	DESENCOFRADO	5/02/2018 8:00 a. m.	1,00 d	5/02/2018 6:00 p. m.	Inicio y final fijos
15 1. DESAPUNTALADO SECCION A	DESENCOFRADO	7/02/2018 8:00 a. m.	1,00 d	7/02/2018 6:00 p. m.	Inicio y final fijos
16 1. DESAPUNTALADO SECCION B	DESENCOFRADO	7/02/2018 8:00 a. m.	1,00 d	7/02/2018 6:00 p. m.	Inicio y final fijos
17 1. DESAPUNTALADO SECCION C	DESENCOFRADO	13/02/2018 8:00 a...	1,00 d	13/02/2018 6:00 p...	Inicio y final fijos

Fuente: Autores

El siguiente paso es crear tipos de tareas que caractericen a las diferentes actividades. Teniendo en cuenta la programación del proyecto se crearon tres tipos de tareas, una para las actividades de encofrado, desencofrado y otra para las de concreto, nombradas en Tekla como ENCOFRADO, DESENCOFRADO y CONCRETO, respectivamente.

Las tareas tipo ENCOFRADO cuentan con los siguientes atributos:

Unidad: Pieces

Cantidad: 1 uds (unidad).

Hora: 1 hora.

Productividad: 1 uds/h. Esta productividad es teórica, la real es calculada por el programa con la duración planificada y la cantidad total de elementos asignados a ese tipo de tarea.

Fecha Inicial Planificada: PLANNED\_START\_E

Fecha Final Planificada: PLANNED\_END\_E

Las tareas tipo DESENCOFRADO cuentan con los siguientes atributos:

Unidad: Pieces

Cantidad: 1 uds (unidad).

Hora: 1 hora.

Productividad: 1 uds/h. Esta productividad es teórica, la real es calculada por el programa con la duración planificada y la cantidad total de elementos asignados a ese tipo de tarea.

Fecha Inicial Planificada: ACTUAL\_START\_E

Fecha Final Planificada: ACTUAL\_END\_E

Las tareas tipo DESENCOFRADO cuentan con los siguientes atributos:

Unidad: Pieces

Cantidad: 1 uds (unidad).

Hora: 1 hora.

Productividad: 1 uds/h. Esta productividad es teórica, la real es calculada por el programa con la duración planificada y la cantidad total de elementos asignados a ese tipo de tarea.

Fecha Inicial Planificada: ACTUAL\_START\_POUR

Fecha Final Planificada: ACTUAL\_END\_POUR

**Imagen 42. Tipos de tareas para la programación**

Tipo de tarea	Unidad	Cantidad	Hora	Productividad	Fecha Inicial Planificada	Fecha Final Planificada
CONCRETO	PIECES	1 uds.	1 h	1,00 uds./h	ACTUAL_START_POUR	ACTUAL_END_POUR
DESENCOFRADO	PIECES	1 uds.	1 h	1,00 uds./h	ACTUAL_START_E	ACTUAL_END_E
ENCOFRADO	PIECES	1 uds.	1 h	1,00 uds./h	PLANNED_START_E	PLANNED_END_E

**Fuente: Autores**

En la imagen anterior se observan los atributos de cada tipo de tarea. La diferencia más significativa entre ellas es el parámetro asignado para la fecha inicial y final planificada, el cual es único para cada tipo de tarea, con el objetivo de evitar errores en la visualización de la simulación 4D, ya que es posible que un mismo grupo de objetos forme parte de varias actividades con características distintas y por tanto contara con fechas de planificación para cada actividad. De hecho, una de las grandes ventajas que Tekla Structures ofrece es la posibilidad de asignar una fecha inicial y final de montaje y desmontaje para cada pieza del sistema de encofrado, permitiendo así tener control sobre la disposición de los elementos en el tiempo, haciendo un seguimiento a la programación estimada con respecto a la ejecución real.

Finalmente se define el tipo de tarea para cada actividad, de manera que se pueda calcular la fecha inicial y final de planificación para cada objeto enlazada a la actividad. Para lograrlo se abre la ventana de información de la tarea y se ingresa a la pestaña de objetos, se seleccionan todos, luego se hace clic en el icono de cálculo de fechas, que es una lupa ubicada en la parte superior.

**Imagen 43. Calculo de fechas de planificación para objetos**

Orden de secuencia	Tipo contenido	Tipo objeto	Nombre	Perfil	Volumen trabajo	Fecha Inicial Planificada	Fecha Final Planificada
00001	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*18	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00002	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*56	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00003	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*56	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00004	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*56	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00005	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*56	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00006	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00007	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00008	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00009	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00010	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00011	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00012	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00013	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*18	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...
00014	PART	ContourPlate	PLACA	PL3*54	1,00 uds.	25/01/2018 8:00 ...	25/01/2018 8:00 ...

**Fuente: Autores**

## 5.6.2 Configuración de Grupos de Objetos

Un grupo de objetos es un conjunto de elementos condicionados a cumplir con un requisito establecido de acuerdo a las características de las tareas de la programación, las necesidades de la simulación 4D y proyecto.

En esta ocasión se crearon cuatro grupos de objetos, dos de ellos para elementos de formaleta y dos para elementos de concreto, con nombres FORMALETA VISIBLE, FORMALETA NO VISIBLE, CONCRETO VISIBLE Y CONCRETO NO VISIBLE. A continuación, se van a describir las características de cada grupo.

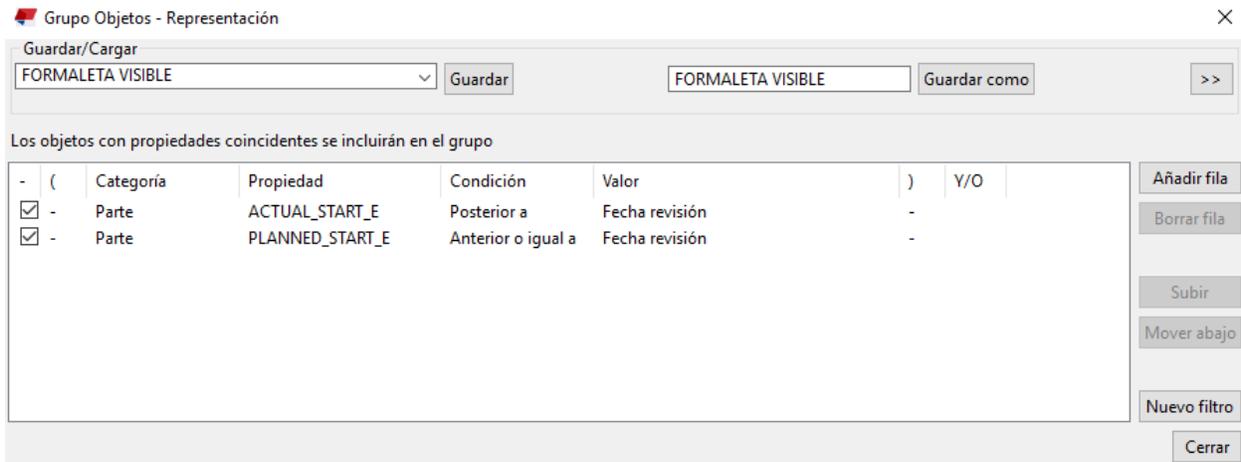
### 5.6.2.1 Grupo FORMALETA VISIBLE

El grupo FORMALETA VISIBLE corresponde al grupo de elementos de formaleta que como su nombre lo indica será visible en la fecha de revisión de la simulación del proceso de encofrado. Para lograr que sean visibles cuando tienen que serlo hay que establecer las condiciones que deben cumplir los objetos dentro del grupo FORMALETA VISIBLE. En primer lugar, en el campo de categoría se selecciona “Parte”, ya que los elementos están compuestos por varias partes, cada parte cuenta con fechas de planificación para cada una de las actividades a las que esta enlazadas en la programación. Es por eso que cada parte de los componentes de formaleta va a tener fechas de planificación para la actividad de encofrar y desencofrar, es decir, que entre sus atributos se encontraran cuatro fechas, una inicial y final para encofrar, otra inicial y final para desencofrar. Teniendo en cuenta lo anterior, se definen las condiciones con las propiedades ACTUAL\_START\_E y PLANNED\_START\_E, que son la fecha inicial para desencofrar y fecha

inicial planificada para encofrar. ACTUAL\_START\_E tiene que ser posterior a la fecha de revisión, ya que, si se quiere que la formaleta sea visible en la etapa de encofrado, la fecha inicial del desencofre en la programación debe ser posterior a la fecha de revisión. PLANNED\_START\_E, por el contrario, tiene que ser anterior o igual a la fecha de revisión porque hace referencia al inicio del encofrado, cuya fecha debe ser anterior o igual a la fecha de revisión.

Finalmente se configura el grupo en el programa con las condiciones mencionadas previamente.

**Imagen 44. Grupo Formaleta Visible**



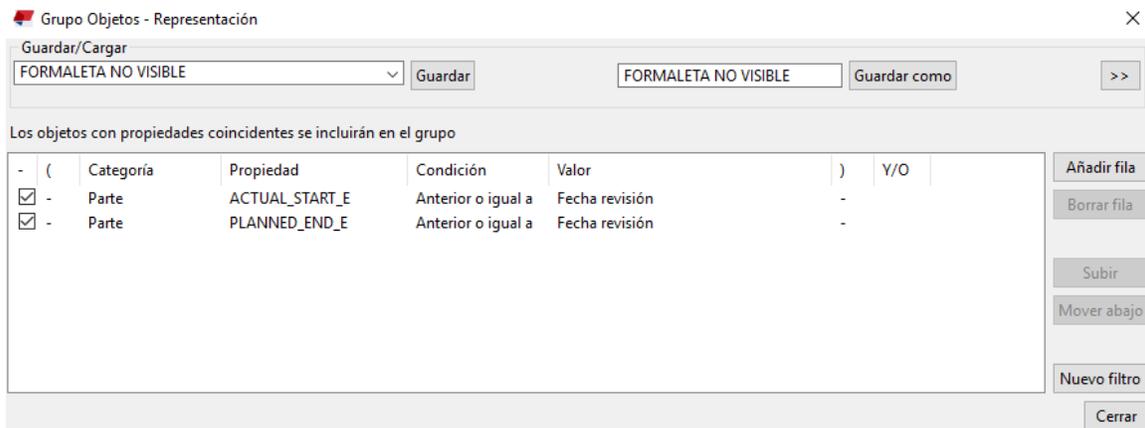
Fuente: Autores

### 5.6.2.2 Grupo FORMALETA NO VISIBLE

El grupo FORMALETA NO VISIBLE corresponde al grupo de elementos de formaleta que no se hará visible en la fecha de revisión de la simulación del proceso de encofrado. Para lograrlo, es necesario establecer las condiciones que deben cumplir los objetos dentro del grupo FORMALETA NO VISIBLE. Primeramente, en el campo de categoría se selecciona “Parte”, ya

que los elementos están compuestos por varias partes, cada parte cuenta con fechas de planificación para cada una de las actividades a las que esta enlazadas en la programación. Es por eso que cada parte de los componentes de formaleta va a tener fechas de planificación para encofrar y desencofrar, es decir, que entre sus atributos se encontraran cuatro fechas, una inicial y final para encofrar, otra inicial y final para desencofrar. Seguidamente, se definen las condiciones con las propiedades ACTUAL\_START\_E y PLANNED\_END\_E, que son la fecha inicial para desencofrar y fecha final planificada para encofrar. ACTUAL\_START\_E tiene que ser anterior o igual a la fecha de revisión, ya que, si se busca que la formaleta no sea visible en la etapa de desencofrado, la fecha inicial del desencofre en la programación debe ser anterior o igual a la fecha de revisión. PLANNED\_END\_E, tiene que ser anterior o igual a la fecha de revisión porque hace referencia a la fecha final planificada del encofrado, que debe ser anterior o igual a la fecha de revisión. Finalmente se configura el grupo en el programa con las condiciones mencionadas previamente.

**Imagen 45. Grupo Formaleta No Visible**

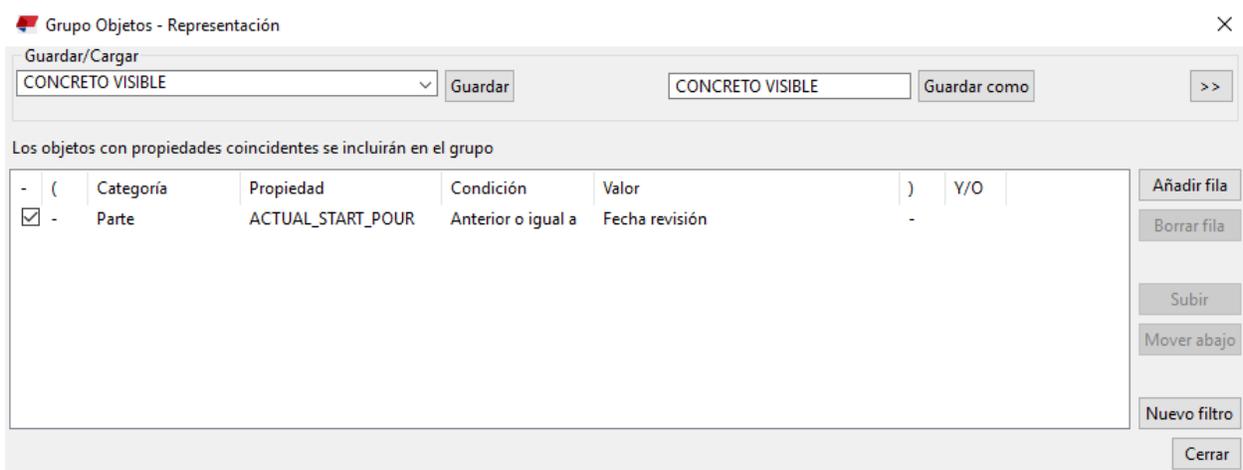


**Fuente: Autores**

### 5.6.2.3 Grupo CONCRETO VISIBLE

Al grupo CONCRETO VISIBLE pertenecen los elementos de concreto del modelo, los cuales deben ser visibles una vez se ejecute la actividad a la que están enlazados. Dichos objetos tienen una fecha inicial y final de ejecución entre sus atributos, las cuales corresponden a las propiedades ACTUAL\_START\_POUR y ACTUAL\_END\_POUR respectivamente. A partir de esa información se define la condición propia del grupo como ACTUAL\_START\_POUR anterior o igual a la fecha de revisión, lo que significa que la fecha inicial de fundida de los elementos en concreto debe ser igual o anterior a la fecha de revisión para que los elementos sean visibles. Finalmente se configura el grupo en el programa con las condiciones mencionadas previamente.

**Imagen 46. Grupo CONCRETO VISIBLE**



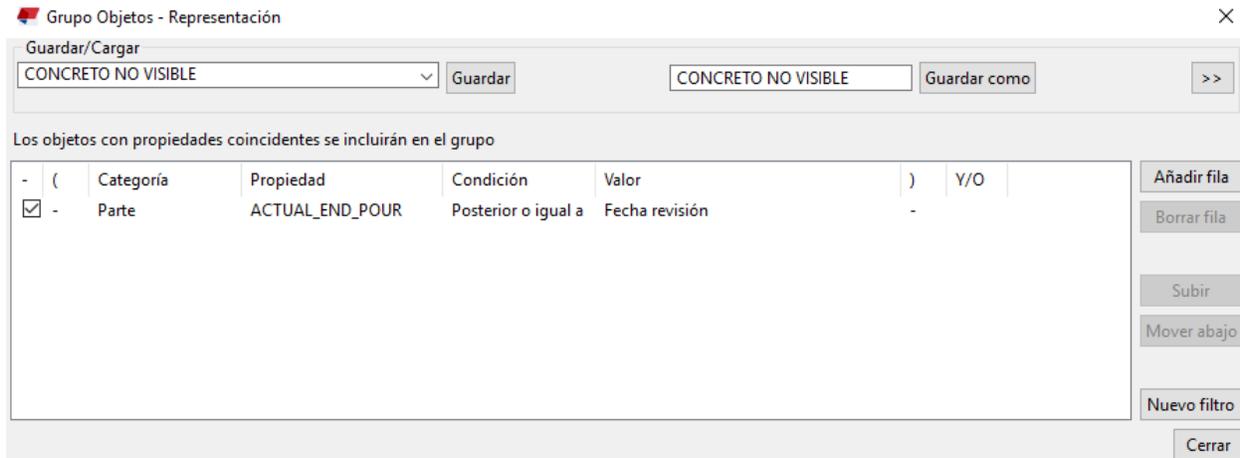
**Fuente: Autores**

### 5.6.2.4 Grupo CONCRETO NO VISIBLE

Al grupo CONCRETO NO VISIBLE pertenecen los elementos de concreto del modelo que no deben ser visibles mientras no se ejecute la actividad a la que están enlazados. Como se

mencionó previamente, estos objetos tienen una fecha inicial y final de ejecución entre sus atributos, las cuales corresponden a las propiedades ACTUAL\_START\_POUR y ACTUAL\_END\_POUR respectivamente. En este caso, la condición del grupo es que la propiedad ACTUAL\_END\_POUR sea posterior o igual a la fecha de revisión, de manera que la fecha final de fundida de los elementos en concreto debe ser posterior o igual a la fecha de revisión para que los elementos no sean visibles. Finalmente se configura el grupo en el programa con las condiciones mencionadas previamente.

**Imagen 47. Grupo CONCRETO NO VISIBLE**



**Fuente: Autores**

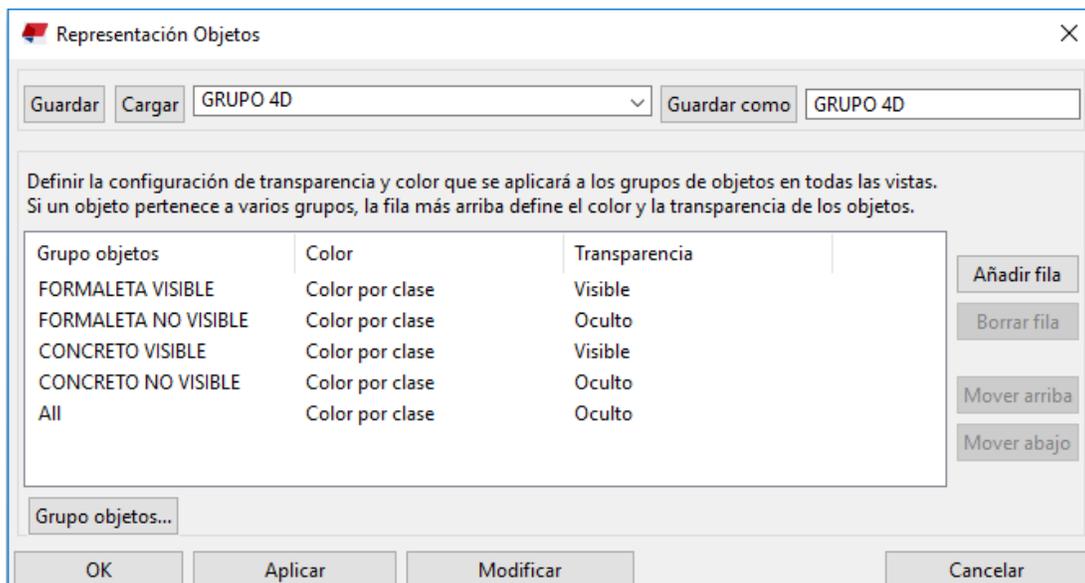
### 5.6.3 Configuración del Grupo de Representación

Un grupo de representación es un número de grupos de objetos con opciones de visualización definidas a partir de los requerimientos del proyecto y de su simulación 4D, es decir, que cuando se haga la simulación 4D, los objetos que pertenecen al grupo de representación se harán visibles o no en la fecha de revisión, de acuerdo con las condiciones preestablecidas para los

grupos de objetos. Las opciones de visualización se establecen en el apartado de color y transparencia del menú de representación. Para este caso, el grupo de representación lleva por nombre GRUPO 4D, y todos los grupos de objetos se mostraran con el color de su clase, que es el mismo que se observa en el modelo. La transparencia si cambia de un grupo a otro, el de formaleta visible sera visible, formaleta no visible sera oculto, concreto visible sera visible y concreto no visible sera oculto.

La configuracion del GRUPO 4D permitira que cuando se haga la simulacion del proceso constructivo del proyecto, se visualizen los elementos que se deben observar y se oculten los que no deben aparecer en los avances alcanzados hasta la fecha de revisión.

**Imagen 48. Grupo de Representación "GRUPO 4D"**



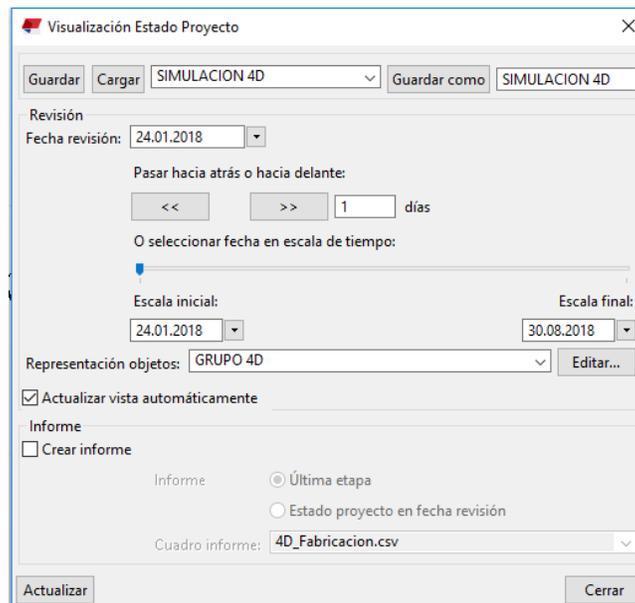
**Fuente: Autores**

#### 5.6.4 Configuración de la visualización 4D

Antes de realizar la simulación del proceso constructivo que sigue el proyecto, es necesario configurar su visualización en el apartado de Estado Proyecto que se encuentra en la pestaña de Gestión en Tekla Structures. Allí se escoge una fecha de revisión inicial, la cual depende del inicio de las actividades en la programación, luego se establece una escala de tiempo inicial y final de la visualización. Seguidamente, se selecciona el grupo de representación al que pertenecen los objetos del proyecto y se activa la opción de actualizar vista automáticamente, de manera que cuando se avance en la fecha de revisión la vista se actualice inmediatamente. Por último, se le asigna un nombre a la visualización y se guarda, para este caso el nombre es SIMULACION 4D.

Adicionalmente es posible obtener diferentes tipos de informes en la fecha de revisión que se desee.

**Imagen 49. Configuración Visualización Estado Proyecto**

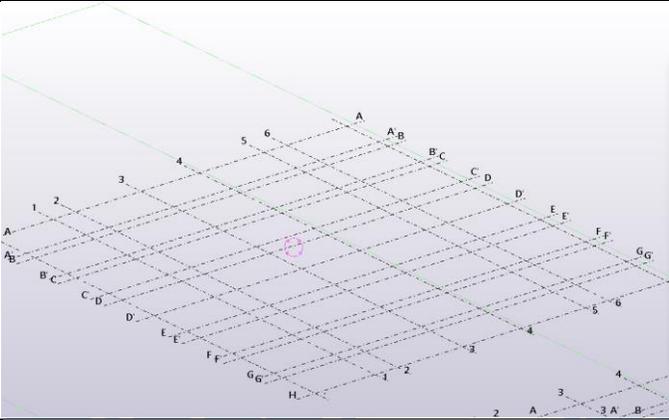
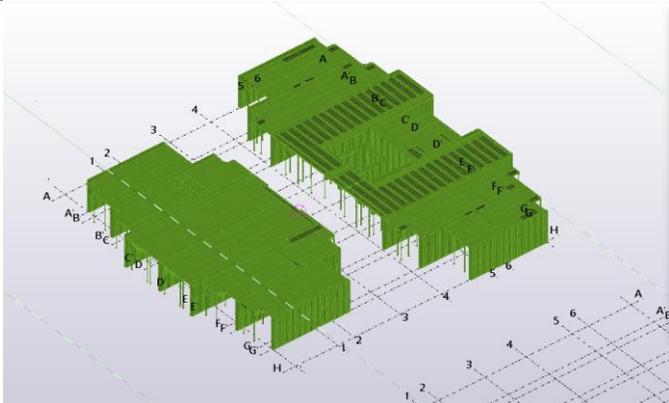


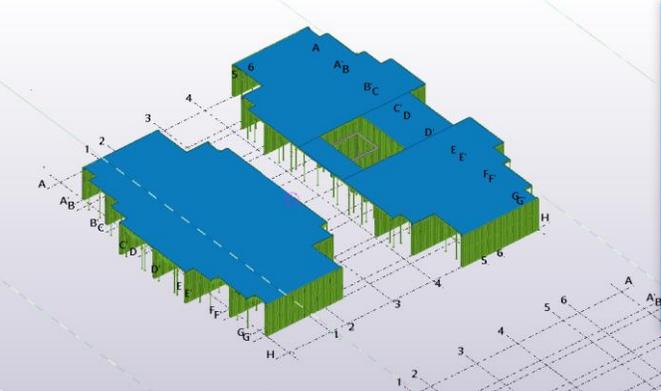
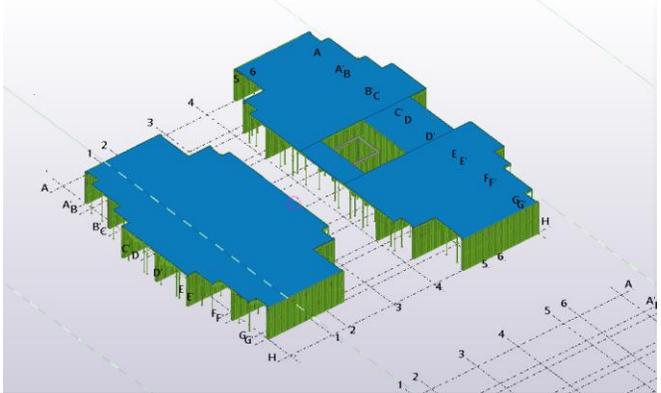
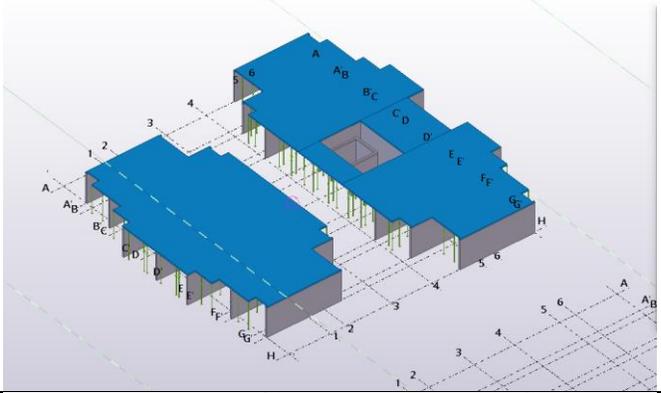
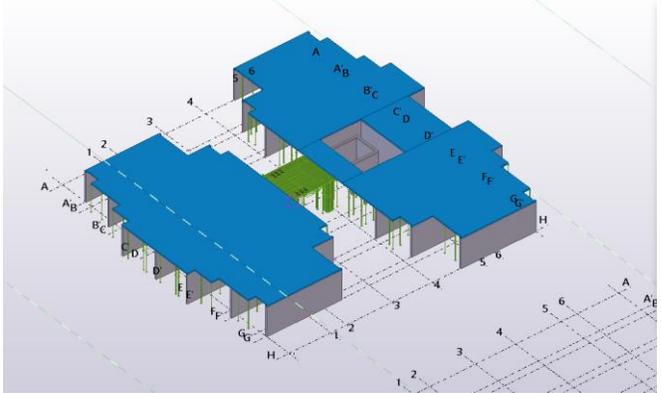
**Fuente: Autores**

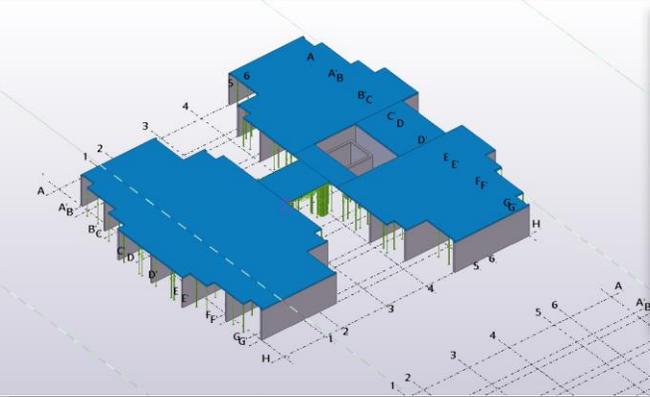
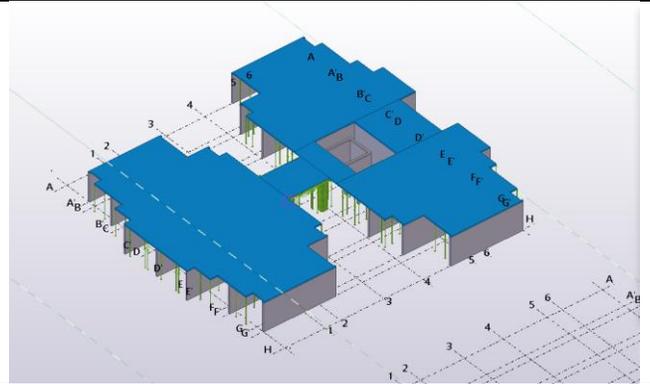
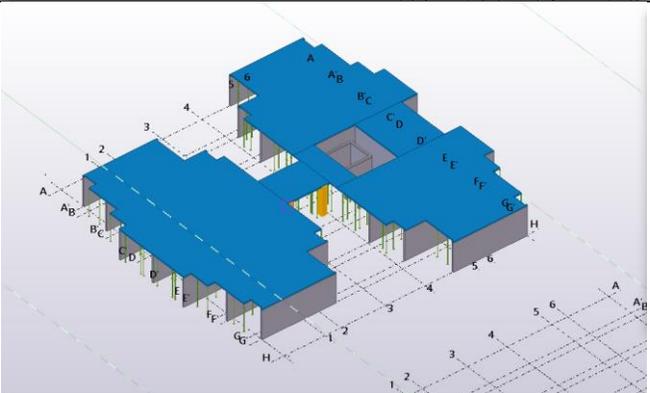
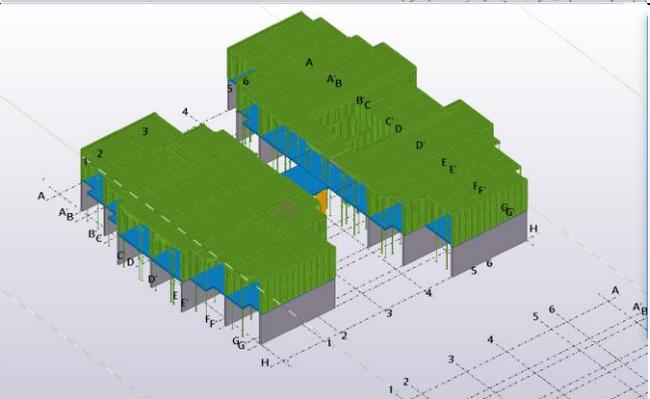
### 5.6.5 Simulación 4D

Una vez se han definido las condiciones de visualización, siguiendo los pasos mencionados antes, se procede a realizar la simulación del proceso constructivo empleado para ejecutar el proyecto, visualizando su avance día tras día, o en un día específico. A continuación, se mostrará el proceso constructivo del primer piso de la edificación, donde se observa la etapa de encofrado, fundida de elementos en concreto, desencofrado, reapuntalado y desapuntalado de placas de concreto.

Tabla 35. Simulación 4D Primer Piso

<b>FECHA DE REVISIÓN</b>	<b>VISUALIZACIÓN</b>
24 de Enero	
25 de Enero	

<p>26 de Enero</p>	
<p>29 de Enero</p>	
<p>30 de Enero</p>	
<p>31 de Enero</p>	

01 de Febrero	
02 de Febrero	
05 de Febrero	
06 de Febrero	

Fuente: Autores

## 5.7 VIDEOS TUTORIALES

Con la realización de los videos se muestran los pasos a seguir para modular formaleta en el software Tekla Structures, con el objetivo de que los estudiantes que tengan acceso a ellos puedan aprender, y aplicar dicho conocimiento tanto en sus proyectos estudiantiles como en su ejercicio profesional. La lista está compuesta por los siguientes videos.

### Video 1: Descarga de Tekla Structures

Descripción de los pasos que se deben seguir para obtener el programa Tekla Structures legalmente, con una licencia estudiantil.

### Video 2: Entorno South América, introducción a Tekla Structures y comandos de movimiento

Descarga del entorno de South América, introducción al flujo de trabajo que ofrece el programa, mostrando como crear un nuevo proyecto, las barras de selección y herramientas, al igual que los diferentes menús que componen el programa y sus comandos de movimiento.

### Video 3: Edición de malla e importación de planos

Edición de malla para la ubicación y edición de ejes según coordenadas, además de la importación de planos, su escala y su ubicación a partir del punto de origen.

### Video 4: Creación de elementos y sus propiedades.

Descripción de cómo crear elementos estructurales como muros, placas y columnas, la modificación de sus propiedades como dimensionamientos, ubicación y color.

#### Video 5: Modelación de formaleta

Descripción del proceso para la creación de formaleta, utilizando placas de acero, donde se modifica su espesor y color, para formar con varias de ellas un elemento dimensionado de formaleta, además las platinas de refuerzo en su interior.

#### Video 6: Edición detalles de Formaleta

Edición de detalles del fabricante en la formaleta, como la creación y ubicación de agujeros y cortes en esquinas establecidos por su diseño.

#### Video 7: Creación De Componentes Formaleta

Una vez se crea el elemento de formaleta, es recomendable guardarlo como un componente en la base datos del modelo. Este video describe los pasos a seguir para alcanzar dicho objetivo.

#### Video 8: Importación de Extensión Formwork Tools

Proceso para importar la extensión de Formwork Tools a Tekla Structures y una breve introducción a sus funciones.

#### Video 9: Configuración de FormworkPanel

Descripción del proceso de configuración de la herramienta para colocar tableros de formaleta en los muros de manera sencilla.

#### Video 10: Configuración de FormworkCondition

Descripción del proceso de configuración de la herramienta para colocar rinconeras y tableros de formaleta en las uniones de muros de manera sencilla.

#### Video 11: Informes para cuantificación de formaleta

Proceso para generar informes de partes de componentes de formaleta y así poder cuantificarlos.

#### Video 12: Introducción a Gestión de Tareas

Exploración del apartado de gestión de tareas para hacer una programación básica de las actividades que conforman el proyecto.

#### Video 13: Creación de tipos tareas y cálculo de fechas de montaje para elementos para encofrado

Proceso para crear los tipos de tarea para actividades de encofrado y desencofrado, e igualmente inscripción de fechas de montaje y desmontaje para las partes de los elementos de formaleta.

#### Video 14: Configuración grupos de objetos y representación

Descripción de la creación de grupos de objetos y de representación para las actividades de programación.

#### Video 15: Configuración de la Visualización de la simulación 4D

Proceso de configuración de la visualización del modelo 4D para la simulación del proceso constructivo.

## 5.8 PROBLEMAS ABP

Como propuesta educacional, se pretende dar a conocer una metodología que le permita al estudiante desarrollar habilidades de una manera diferente a las tradicionales, el aprendizaje basado en problemas tiene como objetivo generar situaciones con un nivel de dificultad más elevado para la solución de estas.

Las características principales de los problemas que se proponen este trabajo de grado, es la falta de claridad en la información al plantear el problema. Los métodos que se han implementado por años en la mayoría de las instituciones educativas implica indicar toda la información pertinente en el enunciado del problema para la solución de este, en cambio este proyecto busca que las situaciones problemáticas para los estudiantes no tengan toda la información que necesitan para que así deban investigar por su cuenta, recurrir a sus habilidades y conocimientos base para encontrar la solución, como es el caso de todos los profesionales que se enfrentan a situaciones reales.

A continuación, se mostrarán los problemas propuestos en base a la metodología BIM para encofrados.

1. Ustedes han sido elegidos para formar el grupo programador y presupuestador que se encargara de la construcción de la estructura en concreto que soportara un tanque elevado para contener 1000 litros de agua. El proyecto se hará en la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, de manera que se cuenta con el equipo de formaleta propio de la universidad.

“Se informó el objetivo principal que es construir la estructura de un tanque elevado, para cumplir esta meta no se han mencionado diseños ni procesos constructivos, por esta razón el ingeniero a cargo tiene que evaluar por su cuenta como dar solución a la problemática planteada, cumpliendo con un propósito fundamental del ABP que impulsa al estudiante pensar por su cuenta cuales son las herramientas que le hacen falta y el plan de trabajo para conseguirlo.”

Se presenta a continuación la información base para trabajar en la solución del problema.

- Videos tutoriales para el uso de software Tekla Structures.
- Biblioteca de componentes de formaleta que fueron modelados en el software.
- Inventario real de la formaleta disponible en el laboratorio de construcciones que se encuentra en la Universidad Pontificia Bolivariana.

**NOTA: Estos videos y componentes se encuentran a disposición de la Universidad Pontificia Bolivariana para su uso en el desarrollo de estos problemas.**

Para tener más conocimientos y facilitar el desarrollo de este problema, se aconseja revisar manuales para la colocación de formaleta según el fabricante que garantice un encofrado adecuado y seguro.

2. Ustedes conforman el equipo programador y presupuestador de la constructora a la cual se le asigno la tarea de construir un muro en concreto de 2.5 m de altura, 4.7 m de largo y 20 cm de espesor. La constructora tiene a su disposición el siguiente listado elementos de formaleta para la situación planteada anteriormente. Es de libre elección la cantidad de elementos por referencia.

**Tabla 36. Listado Tableros Metálicos para Construcción de Muros**

<b>LISTADO DE TABLEROS METALICOS</b>							
<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
Tablero 100x500 mm	100	500	59	Tablero 500x1000 mm	500	1000	59
Tablero 200x500 mm	200	500	59	Tablero 600x1000 mm	600	1000	59
Tablero 350x500 mm	350	500	59	Tablero 100x1100 mm	100	1100	59
Tablero 400x500 mm	400	500	59	Tablero 120x1100 mm	120	1100	59
Tablero 200x600 mm	200	600	59	Tablero 200x1100 mm	200	1100	59
Tablero 500x600 mm	500	600	59	Tablero 300x1100 mm	300	1100	59
Tablero 100x620 mm	100	620	59	Tablero 350x1100 mm	350	1100	59

Tablero 100x650 mm	100	650	59	Tablero 500x1100 mm	500	1100	59
Tablero 100x700 mm	100	700	59	Tablero 600x1100 mm	600	1100	59
Tablero 200x700 mm	200	700	59	Tablero 100x1150 mm	100	1150	59
Tablero 350x740 mm	350	740	59	Tablero 150x1200 mm	150	1200	59
Tablero 100x900 mm	100	900	59	Tablero 200x1200 mm	200	1200	59
Tablero 100x1000 mm	100	1000	59	Tablero 250x1200 mm	250	1200	59
Tablero 120x1000 mm	120	1000	59	Tablero 300x1200 mm	300	1200	59
Tablero 200x1000 mm	200	1000	59	Tablero 350x1200 mm	350	1200	59
Tablero 250x1000 mm	250	1000	59	Tablero 400x1200 mm	400	1200	59
Tablero 300x1000 mm	300	1000	59	Tablero 450x1200 mm	450	1200	59
Tablero 320x1000 mm	320	1000	59	Tablero 500x1200 mm	500	1200	59
Tablero 350x1000 mm	350	1000	59	Tablero 600x1200 mm	600	1200	59
Tablero 400x1000 mm	400	1000	59	Tablero 650x1200 mm	650	1200	59

Fuente: Autores

Tabla 37. Listado de Rinconeras para Construcción de Muro

<b>LISTADO DE RINCONERAS</b>				
<b>Nombre del Elemento</b>	<b>Nombre del Componente</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Ancho 1 (mm)</b>	<b>Ancho 2 (mm)</b>
Rinconera 100x100x200 mm	RIN 100x100x200	200	100	100
Rinconera 100x100x250 mm	RIN 100x100x250	250	100	100
Rinconera 100x100x320 mm	RIN 100x100x320	320	100	100
Rinconera 100x100x400 mm	RIN 100x100x400	400	100	100
Rinconera 100x100x500 mm	RIN 100x100x500	500	100	100
Rinconera 100x100x600 mm	RIN 100x100x600	600	100	100
Rinconera 100x100x850 mm	RIN 100x100x850	850	100	100
Rinconera 100x100x900 mm	RIN 100x100x900	900	100	100
Rinconera 100x100x920 mm	RIN 100x100x920	920	100	100
Rinconera 100x100x950 mm	RIN 100x100x950	950	100	100
Rinconera 100x100x1050 mm	RIN 100x100x1050	1050	100	100
Rinconera 100x100x1100 mm	RIN 100x100x1100	1100	100	100
Rinconera 100x100x1150 mm	RIN 100x100x1150	1150	100	100
Rinconera 100x100x1200 mm	RIN 100x100x1200	1200	100	100

Fuente: Autores

“Se menciona que es de libre elección los elementos por referencia para el encofrado, esto garantiza uno de los objetivos del ABP, que es llegar a un análisis autodidáctico donde el

estudiante identifique cuales son los componentes que pueden garantizar un mejor rendimiento de trabajo y estabilidad en la colocación de este encofrado.”

Se presenta a continuación la información base para trabajar en la solución del problema.

- Videos tutoriales para el uso de software Tekla Structures.
- Biblioteca de componentes de formaleta que fueron modelados en el software.
- Inventario de la formaleta disponible por la empresa a cargo de esta actividad.

**NOTA: Estos videos y componentes se encuentran a disposición de la Universidad Pontificia Bolivariana para su uso en el desarrollo de estos problemas.**

Para tener más conocimientos y facilitar el desarrollo de este problema se aconseja revisar manuales para la colocación de formaleta según el fabricante que garantice un encofrado adecuado y seguro

## 6. CONCLUSIONES

La metodología BIM como herramienta para la ejecución de proyectos de construcción, facilita la cuantificación de la formaleta e igualmente la planeación de su disposición en un periodo de tiempo, de manera que su correcto uso garantiza cierta armonía en el orden de trabajo. El programa Tekla Structures es un software BIM que realmente vale la pena usar no solo para la modulación de formaleta de una edificación sino para la gestión de la misma durante la ejecución del proyecto.

El software empleado permite modelar el proyecto en 3D, con elementos paramétricos, lo que es un gran beneficio, puesto que es posible modificar alguno de sus atributos en cualquier etapa del proyecto, obteniendo actualizaciones inmediatas en los informes y visualizaciones del modelo. La creación de componentes paramétricos de formaleta es un proceso que se debe realizar con mucho cuidado, ya que cualquier error que se cometa al modelar un elemento puede terminar en problemas relacionados con la cuantificación de la formaleta, lo cual tiene repercusión directa en el presupuesto del proyecto.

El programa de modelación BIM, hace que la creación de los elementos 3D de formaleta sea un proceso manejable y sin limitantes, lo que supone una ventaja para los estudiantes, puesto que se está en la libertad de modelar cualquier tipo de elemento, tanto los que son considerados estándar dentro de los catálogos de encofrados que se encuentran en la industria, como aquellos elementos que no lo son. Estos últimos son elementos que se tienen que diseñar específicamente para el proyecto, de manera que al trabajar con un modelo BIM es posible establecer con

anticipación que elementos de encofrado son exclusivos para el proyecto, para así planificar su fabricación y poder tenerlos a disposición en el momento que se requieran.

En cuanto a la modelación 4D del sistema de encofrado de un proyecto constructivo, se puede concluir que su realización permite tener un alto grado de control sobre la programación planeada del proceso constructivo, siempre y cuando la información suministrada sea la correcta, de manera que es importante tener presente que, si bien es cierto que estas herramientas de simulación son muy beneficiosas pueden llegar a no serlo si el manejo de la información no es adecuado, por eso se debe alimentar el modelo con datos basados en soportes reales y no suposiciones o experiencias que no guardan relación con el proyecto, porque se podría terminar con resultados alejados de la realidad, producto de desviaciones de costos y tiempo. El programa empleado, al ser un software BIM, facilita la gestión de toda la información que constituye al modelo, al punto de que es posible asignar una fecha de montaje y de desmontaje para cada una de las partes que componen el sistema de encofrado e incluso se puede definir el orden de colocación de los elementos de formaleta. La secuencia de montaje de la formaleta se plasma en la programación del proyecto en el programa, donde precisamente cada parte de un componente perteneciente a determinada tarea, tendrá una fecha inicial y final planificada, las cuales estarán inscritas en los atributos de los elementos, de manera que al hacer clic en cualquier objeto en el modelo aparecerán entre sus propiedades la fecha planeada para su montaje y desmontaje. Además de lo antes mencionado, las opciones de planificación que ofrece el software para la programación son de gran utilidad para las actividades de encofrado, principalmente porque si se cuenta con una productividad real, el programa calcula la duración de la actividad a partir de esta productividad y el número de objetos que involucra la tarea, pero si no se cuenta con una productividad y si con

una duración fija de la actividad, el programa calculara la productividad de la misma teniendo como base el número de objetos enlazados a la tarea y su duración.

En ese orden de ideas, los estudiantes que apliquen la metodología BIM con el software utilizado, podrán experimentar con los rendimientos para las actividades de encofrado y desencofrado, de manera que puedan evaluar diferentes opciones de ejecución de un proyecto, ya que se les facilitara ensayar en una etapa de planeación, la cantidad y la forma más adecuada en que se deben colocar los tableros de formaleta, identificando el tamaño y orientación de elementos que ofrezcan el uso de un menor número de piezas y por ende menos recursos tanto económicos como humanos, este proceso es mucho más fácil y cómodo simulando la ejecución de actividades programadas en base a un modelo 3D, que imaginarlo a partir de su visualización en uno o varios dibujos de dos dimensiones.

Dedicarle tiempo a la adquisición de saberes en el manejo de un software BIM, especialmente Tekla Structures, es de mucha ayuda, porque en la práctica profesional, facilitara la fluidez para tomar decisiones en cuanto al desarrollo del proyecto, puesto que al trabajar con modelos BIM se puede dimensionar claramente la afectación que tiene cualquier decisión en la ejecución de un proyecto, ya que permitirá que el estudiante analice los efectos que puedan derivar en posibles retrasos o avances. Por consiguiente, es importante que la enseñanza y práctica de estas herramientas se haga realidad, para así conocer más a fondo la utilidad que tiene BIM no solo para la modelación de formaleta y su gestión en la construcción de una edificación monolítica, sino para cualquier tipo de proyecto. El aprendizaje basado en problemas, ABP, es una metodología efectiva con este tipo de herramientas, teniendo en cuenta que prácticamente fue la empleada en

la realización del modelo BIM 4D en que se basa este proyecto de grado, los autores iniciaron una investigación por cuenta propia, acudieron a la ayuda de un profesional en el tema de modelación BIM y les fue suministrado material de apoyo, sin embargo, esa ayuda no resolvía puntualmente el problema, pero si facilito el diseño de una solución, para la cual se alcanzaron objetivos sin ninguna metodología que explicara con un paso a paso la manera de lograrlo, lo que posibilito un aprendizaje más profundo en los estudios relacionados con formaleta para el desarrollo de este modelo. A lo largo de este aprendizaje surgieron inquietudes con relación al proceso de armado del encofrado y rendimientos del mismo, dichas incógnitas no surgieron en la clase sobre formaleta vista en el curso de programación y presupuestos, ya que al ser una clase tradicional se imparten conceptos y se resuelven problemas puntuales de aplicación de los que no se obtiene una retroalimentación tan significativa como la obtenida al usar la metodología del ABP, que es un proceso de aprendizaje casi auto dirigido, donde es necesario el acompañamiento del profesor, para que con su guía y constante motivación transmita su experiencia.

## 7. RECOMENDACIONES

- En caso de que se cuente con una edificación con una cantidad de pisos considerable, una manera de facilitar el flujo de trabajo es crear una fase e igualmente una vista para cada piso.
- Entre más complejo sea el proyecto que se desea modelar, se necesita un equipo eficiente, lo que quiere decir que se recomienda trabajar con un computador con capacidad de 16 GB de memoria RAM. Además, si es posible procesador Intel® Core™ i7 para que el funcionamiento del programa sea fluido y contar con una pantalla mayor a 14 pulgadas, debido a que una pantalla de menor tamaño imposibilita acceder a algunas herramientas necesarias para la edición o asignación de características en los elementos del modelo, una solución fácil podría ser ajustar la resolución de la pantalla, pero esto puede afectar la rapidez del equipo como también la calidad de la imagen.
- Ubicar los elementos de formaleta requiere tener un conocimiento base en el armado de esta, por esto se recomienda acudir a la orientación de un experto o a los instructivos del fabricante, con el fin de garantizar la estabilidad de la estructura y evitar posibles áreas descubiertas que produzcan un derrame del concreto o material que se quiera encofrar.

- Guardar una copia del modelo que se cree, para tenerlo disponible en caso de que ocurra algún imprevisto, como, por ejemplo, al abrir un modelo en un programa con una versión más actualizada, no es posible volver a abrirlo en la versión anterior en la que fue creado.
- Uno de los objetivos de este trabajo de grado fue llegar a la modelación 4D de un proyecto estructural, el cual implica la creación de una programación con ayuda de las metodologías BIM, pero además de esto se puede extender su alcance con el uso del software Vico Office, programa computacional donde se puede llegar a una modelación 5D que implica la parte presupuestal de un proyecto, además de que brinda la posibilidad de vincularse con softwares como SketchUp, ArchiCAD y Tekla Structures.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] P. Meadati, J. Irizarry y A. Aknoukh, «BIM and Concrete Formwork Repository,» de *47th ASC Annual International Conference*, Nebraska, 2011.
- [2] J. Messner, S. Yerrapathruni, A. Baratta y V. Whisker, «Using Virtual Reality to Improve Construction Engineering Education,» de *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, Pennsylvania, 2003.
- [3] R. Kannan y H. Santhi, «BIM and Concrete Formwork: The Paradigm Shift in Formwork Industry,» *The master Builder*, 2015.
- [4] M. Monsalve Amaya y M. Castillo Arteaga, «Análisis de Presupuesto, Ejecución y Control de Costos en equipos y formaletas empleados en la construcción de proyectos de vivienda,» Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2015.
- [5] V. Rossado Espinoza y D. Serrano Flores, «La enseñanza de una metodología integral de colaboración para la gestión de proyectos en construcción civil: la metodología BIM en la educación superior,» Universidad Ricardo Lima, Lima, 2015.
- [6] C. Clevenge, M. Ozbek y S. Glick, «Integrating BIM into Construction Management Education,» Colorado State University, Colorado, 2014.
- [7] J. Jurado Egea, O. Liébana Carrasco y M. Gómez Navarro, «Uso de BIM como herramienta de integración en talleres de tecnología de la edificación,» Departamento de Tecnología y Gestión de la Edificación, Universidad Europa de Madrid, Madrid, 2015.
- [8] E. Barragan Gómez y R. Diana, «Modelo digital 4D como apoyo a la programación de actividades de cimentación y estructura en proyectos de vivienda multifamiliar,» Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2016.
- [9] S. Camargo Amarís y X. Delgado Lizarazo, «Propuesta de un aplicativo en Excel como apoyo a la estrategia didáctica de aprendizaje basado en problemas en la asignatura de presupuesto y programación de obras,» Escuela de Ingenierías, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2015.
- [10] J. Mills y D. Treagust, «Engineering Education: Is Problem Based or Project Based Learning the Answer?,» *Australian Journal of Engineering Education*, 2003.
- [11] T. Cosgrove, D. Phillips y M. Quilligan, «Educating engineers as if they were human: PBL in civil engineering at the University of Limerick,» *International Symposium for Engineering Education*, University Collage Cork, Irlanda, 2010.

- [12 H. Awad S., «Concrete Formwork: An Introduction,» de *Concrete Formwork Systems*, Nueva York ,  
] Publicaciones Marcel Dekker, 1999, p. 14.
- [13 O. J. Silva, «Blog 360° en Concreto,» [En línea]. Available:  
] <http://blog.360gradosenconcreto.com/formaletas-para-la-construccion-con-sistemas-industrializados/>. [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- [14 J. J. Rojas, «Civil Geeks,» [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2011/12/14/encofrados-metalicos/>. [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- [15 Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, «OSALAN,» [En línea]. Available:  
] [http://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad\\_200720/es\\_200720/adjuntos/seguridad\\_200720.pdf](http://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf). [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- [16 D. Holzer, *The BIM Manager's Handbook. A Guidance for professionals in architecture engineering and construction.*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd., 2016.
- [17 B. Hardin y M. Dave, *Bim and construction management. Proven tools methods and workflows.*, Indiana: John Wiley & Sons Ltd., 2015.
- [18 Trimble, «Tekla,» [En línea]. Available: <https://www.tekla.com/la/soluciones/contratistas-que-trabajan-con-concreto/encofrado>. [Último acceso: 6 Septiembre 2017].
- [19 MEC CAD, «AndamioCad,» [En línea]. Available: <http://www.andamiocad.com/for-cad-encofrado-muros-3d/>. [Último acceso: 6 Septiembre 2017].
- [20 PERI , «Direct Industry,» [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/peri/product-14794-1315379.html>. [Último acceso: 6 Septiembre 2017].
- [21 Allplan , «Allplan A Nemetschek Company,» [En línea]. Available:  
] <https://www.allplan.com/es/productos/la-gama-de-productos-de-allplan/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2017].
- [22 A. Escribano González y A. Del Valle López, *El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP): Una propuesta metodológica en la educación superior.*, Bogotá: Ediciones de la U, 2015.
- [23 L. F. Botero, «Análisis de Rendimientos y consumo de mano de obra en actividades de construcción,»  
] *Universidad EAFIT*, n° 128, p. 17, 2002.