

**PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACERO DE
REFUERZO, CON BASE EN MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS.**

**SERGIO GEOVANY GÓMEZ MARTÍNEZ
JULIÁN ANDRÉS ROJAS ARIZA**



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

**PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACERO DE
REFUERZO, CON BASE EN MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS.**

**SERGIO GEOVANY GÓMEZ MARTÍNEZ
JULIÁN ANDRÉS ROJAS ARIZA**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil

**Director:
OMAR GIOVANNY SANCHEZ RIVERA
Ingeniero Civil, M.Sc.**

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

2016

Dedicatoria

Agradecimiento especial a nuestros padres por su apoyo a lo largo de nuestro proceso de formación como profesionales.

*Gómez Camacho Fabio Esteban
Martínez Reyes Rosalba*

Y

*Rojas Jiménez Josué Asdrúbal
Ariza Castillo Fislayne Aurora*

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. METODOLOGIA	16
1.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO A OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO	16
1.2 ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D	20
1.2.1. Especificaciones	21
1.2.2. Planos Estructurales	21
1.2.3. Modelo BIM 3D	22
1.2.4. Cantidades de obra	23
1.2.5. APU	24
1.2.6. Presupuesto	24
1.2.7. Programación de Obra	24
1.2.8. Modelo BIM 5D	24
1.3. ELABORACIÓN DE LOS PEDIDOS	25
1.4. MODELADO EN DINÁMICA DE SISTEMAS	26
1.5. DESARROLLO DE UN ALGORITMO EN UML PARA LA PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO DEL ACERO DE REFUERZO	27
2. RESULTADOS	28
3. DISCUSION Y RECOMENDACIONES	38

3.1. BIM 3D	38
3.2. BIM 5D	39
3.3. DINÁMICA DE SISTEMAS	40
4. CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
BIBLIOGRAFIA	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cadena de suministro e instalación del acero.	16
Figura 2. Ilustración cadena de suministro.	19
Figura 3. Procedimiento modelo BIM 5D. Fuente: Creación propia	22
Figura 4. Elemento figurado. Fuente: Elaboración en el software Autodesk Revit 2015	23
Figura 5. Vehículos de transporte	26
Figura 6. Modelo BIM 3D en el software Autodesk Revit 2015.	28
Figura 7. Presupuesto	29
Figura 8. Programación de obra.	31
Figura 9. Modelo BIM 5D	31
Figura 10. Modelo dinámica de sistemas	34
Figura 11. Variación del flujo de material durante el proceso constructivo	35
Figura 12. Cantidad de elementos almacenados e instalados respecto del tiempo.	36
Figura 13. Algoritmo en UML	37

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Carga máxima según camión Tipo.	25
Tabla 2. Fechas de pedidos.	32
Tabla 3. Pedido No 6.	33

RESUMEN

TITULO PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ACERO DE REFUERZO, CON BASE EN MODELOS BIM 5D Y DINÁMICA DE SISTEMAS*.

AUTORES Sergio Geovany Gómez Martínez,
Julián Andrés Rojas Ariza**

PALABRAS CLAVE Acero de refuerzo, building information modeling, BIM 5D, dinámica de sistemas, planificación

En el entorno colombiano es frecuente observar que las estructuras en concreto reforzado son ampliamente utilizadas en la industria de la construcción, lo que ocasiona que se presente una demanda notoria de concreto y acero de refuerzo, en donde el suministro del acero es causante de pérdidas y atrasos en los procesos de construcción por concepto de: la gran cantidad de elementos que se requieren, las diferentes formas geométricas, las falencias evidentes en la planificación del suministro, la capacidad de los talleres encargados de la figuración, el almacenamiento en las obras, entre otros. En la actualidad, el uso de tecnologías BIM ha cobrado más importancia en el campo de la gestión de proyectos de ingeniería, debido a que brinda la posibilidad de desarrollar modelos del proceso constructivo BIM 5D (ancho, alto, profundidad, tiempo y costo), en donde es posible contar con una simulación virtual del proceso de construcción del proyecto, permitiendo mejorar la toma de decisiones en la fase de planificación de los proyectos; Además el modelado con dinámica de sistemas nos permite un conocimiento mayor sobre cómo se desarrollan y relacionan a lo largo del tiempo las variables relacionadas con el suministro e instalación del acero. El presente artículo se basa en el modelado con tecnologías BIM 5D y en dinámica de sistemas para elaborar la planificación del suministro e instalación del acero de refuerzo de la estructura en concreto reforzado del domo de la estación "Portal Girón" del Sistema Integrado de Transporte Masivo del área Metropolitana de Bucaramanga.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sanchez Rivera, Ingeniero Civil, Msc.

ABSTRACT

TITLE: PLANNING OF THE SUPPLY AND INSTALLATION OF STEEL OF REINFORCEMENT, WITH BASE IN MODELS BIM 5D AND SYSTEM DYNAMICS*

AUTHORS: Sergio Geovany Gómez Martínez
Julián Andrés Rojas Ariza**

KEY WORDS Reinforcement Steel, Steel Rebar, Building Information Modeling, BIM 5D, Dinamic of systems, Planning.

In the Colombian environment it is often observed that structures in reinforced concrete are widely used in construction industry, which causes a noticeable demand for concrete and reinforcement steel, where steel supply is causing losses and delays in construction processes due to: the large number of elements required, different geometric shapes, the supply planning mistakes, capacity of steel figuration of specialized workshops, material storage, among others. Currently, the use of BIM technology has become more important in engineering projects management around the world, because it provides the opportunity to develop models of construction process BIM5D (width, height, depth, time and cost) of civil works where is possible to have a virtual simulation of the construction process, enabling better decision-making in the planning stage of projects; Also, the dynamics system modelling allows us a better understanding of how the variables related to the supply and instalation of steel developes over time and how to manage them. This article is based on modeling technologies BIM 5D and dynamics of systems to develop planning and installation of reinforcing steel in structures in reinforced concrete, our study case is the station "Portal Giron.of the Integrated Public Transport Systems in the Metropolitan area of Bucaramanga, Colombia.

* Project of grade

** Faculty of Engineering Physical Mechanical, School Engineering Civil DInrector Omar Giovanny Sanchez Rivera, Ingeniero Civil, Msc.

INTRODUCCION

Los proyectos de construcción se caracterizan por estar compuestos de un número significativo de insumos, esta situación convierte la gestión de un proyecto en una labor compleja a lo largo de las diferentes fases del ciclo de vida [1] (diseño, planeación, construcción, operación, demolición, etc.).

En el entorno colombiano es frecuente observar que las estructuras en concreto reforzado son ampliamente utilizadas en la industria de la construcción, lo que ocasiona que se presente una demanda notoria de concreto y acero de refuerzo, en donde el suministro del acero es causante de pérdidas y retrasos en los procesos de construcción por concepto de: la gran cantidad de elementos que se requieren, las diferentes formas geométricas, las falencias evidentes en la planificación del suministro, la capacidad de los talleres encargados de la figuración, el almacenamiento en las obras, entre otros [2].

Existe la necesidad de desarrollar un modelo de planificación del suministro e instalación de acero de refuerzo, con la finalidad de reducir las pérdidas asociadas a: cargue, descargue, almacenamiento, desperdicios, mano de obra, deterioros del material, entre otros. Investigadores y profesionales de la industria de la construcción han desarrollado diferentes modelos de planificación a partir de diagramas de Gantt y dibujos en dos dimensiones (2D), sin embargo procedimientos basados en dibujos en dos dimensiones (2D) para diseño, comunicación, y construcción de edificios y otros proyectos de Ingeniería Civil están siendo reemplazados por modelos paramétricos en tres dimensiones [3].

Para estudiar la planificación del suministro e instalación del acero de refuerzo, es necesaria una herramienta que permita almacenar y gestionar el gran volumen de información asociado, además de brindar facilidades y automatización en cuanto a la cuantificación, comprobación y detección de interferencias e inconsistencias. La tecnología building information modeling (BIM), que actúa como una base de datos digital, resulta una herramienta tecnológica con numerosos beneficios en donde la información es almacenada e integrada en un único modelo. En todo el mundo se han realizado grandes esfuerzos para mejorar diferentes aspectos de la aplicación BIM en diversos ámbitos, entre ellos el hormigón armado [4]. El BIM brinda la posibilidad de construir modelos del proceso constructivo BIM 5D (ancho, alto, profundidad, tiempo y costo), en donde es posible contar con una simulación virtual del proceso de construcción del proyecto en donde es posible mejorar la toma de decisiones en la fase de planificación de los proyectos.

El suministro e instalación del acero de refuerzo puede ser visto como un sistema que está compuesto por diferentes partes que se relacionan entre sí y dan funcionamiento a un todo, dicho sistema posee un carácter dinámico el cual se presenta con la variación del tiempo, por tanto la dinámica de sistemas resulta una herramienta ideal para el modelamiento y simulación del suministro e instalación de acero de refuerzo. Las ventajas básicas de la simulación son su generalidad, la flexibilidad y el poder de simular casi cualquier comportamiento del sistema real [5] [6] [7].

Teniendo presente lo expuesto la pregunta de investigación que desea responder es: ¿cuáles son los pasos o actividades que se deben realizar para planificar el suministro e instalación del acero de refuerzo, con base en modelos del proceso constructivo BIM 5D y dinámica de sistemas?, para responder la pregunta de investigación se realizó una consulta bibliográfica para identificar las características del sistema y con base en la información obtenida se elaboró un modelo del suministro e instalación de acero de refuerzo con la información

producida en un modelo BIM 5D, en donde a partir de los resultados se desarrolló un algoritmo en UML (Unified Modeling Language), lenguaje universal que utiliza algunos tipos de gráficos para mostrar de forma clara y sencilla los resultados, lo cual permitirá dar respuesta a la pregunta de investigación, la cual de acuerdo a la revisión de literatura realizada corresponde a un aporte al conocimiento existente.

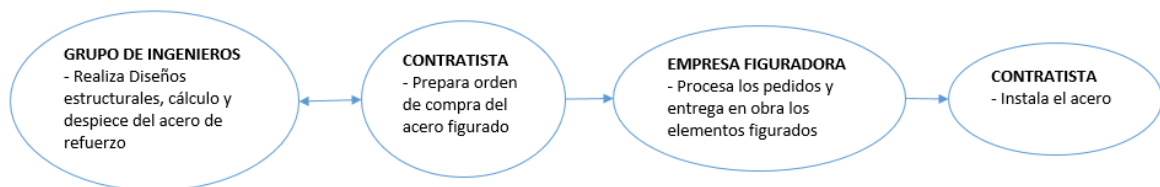
1. METODOLOGIA

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en cinco etapas, la primera fue la identificación de las características del sistema de suministro e instalación del acero de refuerzo a obras de construcción de estructuras en concreto reforzado; La segunda, la elaboración del modelo BIM 5D ; la tercera, la distribución de los pedidos del acero de refuerzo ; La cuarta actividad fue la realización del modelo y simulación en dinámica de sistemas del flujo de material; Por último el desarrollo del algoritmo en UML para la planificación del suministro del acero de refuerzo.

1.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL ACERO DE REFUERZO A OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO REFORZADO

Según las configuraciones establecidas por Polat y Ballard [8] para la cadena de suministro del acero de refuerzo a estructuras de concreto reforzado, la configuración que se adapta mejor a nuestro caso de estudio es la número dos, la cual se muestra en la figura 1 y se explica a continuación.

Figura 1. Cadena de suministro e instalación del acero.



El grupo de ingenieros determina el tipo de edificación y realiza un análisis estructural, prepara los diseños estructurales y realiza los despieces de las

armaduras que componen el proyecto, posteriormente presenta la información de diseño del acero de refuerzo mediante planos en 2D en los que se detallan diámetros, longitudes y colocación del acero de refuerzo a los elementos estructurales pero no de manera global. Además de encargarse del diseño, el grupo de ingenieros debe verificar y asegurarse que lo que se diseñe efectivamente se instale en obra y que cualquier error en los planos de diseño o de detalle de las armaduras, pueda solucionarse antes de la instalación [9], por lo cual, con el objetivo de encontrar soluciones unificadas a problemas con los materiales o criterios de diseño, se hace necesario que los ingenieros, y contratistas se comuniquen y compartan gran cantidad de información de manera continua hasta que el proyecto finalice [10].

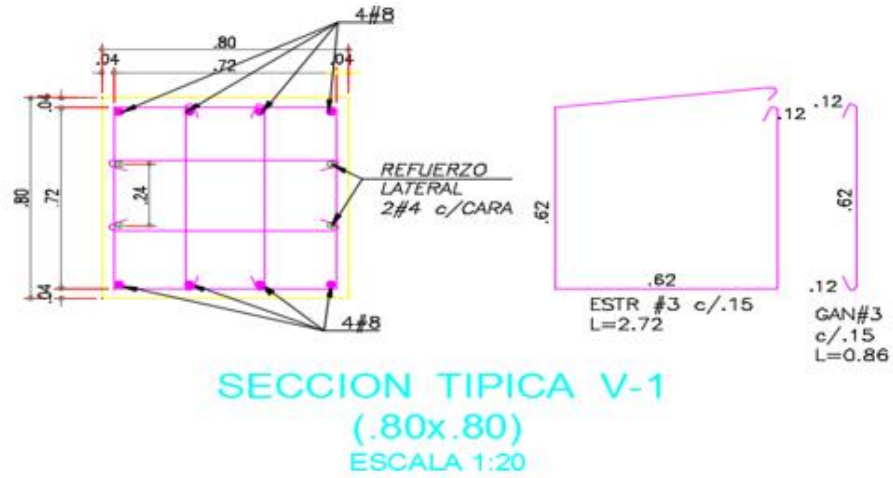
El contratista recibe los planos e información por parte del grupo de ingenieros, posteriormente, elabora los formatos de pedido del material, en los cuales especifica, tipo de acero, peso, diámetro, longitud y figuración de las barras, número de designación de la NTC [11], entre otras, como también las fechas en que se necesita el pedido. Una vez realizado y procesado el pedido por parte de la empresa encargada de la figuración, el acero llega a la obra listo para ser instalado en paquetes predeterminados de acuerdo al pedido. Para aprobar la recepción del acero de refuerzo por parte del contratista, se pesa el acero en obra, si los valores concuerdan se aprueba la entrega, si no, se hace una devolución parcial o total de las barras a la espera que esto se solucione. Este método se lleva a cabo por la rapidez con que se realiza, pero no es muy eficiente ya que no se controlan aspectos importantes como el tipo de elementos ni los diámetros. Antes de instalar el acero el contratista verifica que las barras estén libres de imperfecciones superficiales, en caso de tener polvo o escorias se limpian manualmente mediante un cepillo de cerdas de acero [11], posteriormente se arma el acero siguiendo los planos de diseño de las armaduras. Una vez instalado el acero por parte de los obreros, se le notifica al jefe inmediato y este verifica que corresponda con los planos, si este aprueba la tarea se le comunica al profesional

en obra, el cual hará otro chequeo del resultado del trabajo, si lo aprueba se procede a hormigonar, si en los chequeos se detecta alguna irregularidad, esta debe ser informada para que se corrija el error [9].

Con frecuencia la baja constructibilidad y los mecanismos básicos de información que se utilizan tradicionalmente como los planos en 2D y los documentos escritos, generan dificultades en la interpretación de los requerimientos y el correcto posicionamiento de los elementos de refuerzo en la etapa constructiva.

Generalmente la empresa encargada de la figuración del acero dirige la orden de compra a sus proveedores, (las empresas proveedoras entregan el material de dos formas distintas, una es en forma de rollos o madejas y la otra es en barras de 6 a 12 metros de largo), incluyendo la siguiente información: masa, nombre o designación del material, diámetro, longitud de corte, tipo de embalaje y rotulado y designación de la NTC 2289 [11]; El problema de las barras con longitud estándar es que producen pérdidas de material si no se logra utilizar la pieza completa [9] por lo que es necesario por parte de la empresa determinar secuencias productivas estratégicas para reducir las pérdidas y controlar espacios de almacenamiento. Otro aspecto a considerar es la longitud de las barras, ya que, por lo general, la instalación y el transporte de barras con longitudes mayores a los 6 metros implican problemas y demoras [9].

Figura 2. Ilustración cadena de suministro.



Pedido No 6				
DIÁMETRO BARRA	LONGITUD [cm]	CANTIDAD	Tipo	Detalle
No 4	180	70	MURO 1' longitudinal	21cm
	600	70	MURO 1' longitudinal	21cm
	248	137	MURO 11'-DC transversal	32cm
	346	137	MURO 11'-DC transversal	32cm
No 6	448	180	MURO 11'-DC transversal	21cm
	541	318	MURO 11'-DC transversal	32cm 32cm



Las barras de acero se figuran mediante máquinas de corte y doblado dirigidas por control numérico computacional (CNC), en las cuales se ingresan los datos de los

elementos en una planilla electrónica (dimensiones, radios de curvatura, formas, etc.) y se obtiene en forma automatizada, a gran velocidad y de manera organizada los elementos ya figurados según los requerimientos [12].

Para el establecimiento de tarifas para sus clientes las empresas encargadas de la figuración se basan en procedimientos inexactos que pueden generar pérdidas debido la carencia de una metodología estándar [9]. Las tarifas a cobrar se calculan de la siguiente manera: primero se toman los planos de diseño y se estima un diámetro promedio de acero para el proyecto y se halla su área transversal, luego se multiplica el largo total obteniendo como resultado la cantidad aproximada de acero para el proyecto; posteriormente, estiman un grado de dificultad de la obra dependiendo de los tipos de elementos a figurar; y, por último, negocian un porcentaje de pérdida con el cliente. Con estos tres parámetros, se genera una tarifa por kilo de acero doblado y cortado. Este procedimiento acarrea costos asociados al riesgo de estimar mal el diámetro promedio y el porcentaje de pérdida [9], además de la variación en peso que presentan las barras corrugadas para refuerzo, las cuales pueden tener mínimo el 94 por ciento del peso (masa) aplicable por unidad de longitud y ninguna restricción en cuanto a su máximo (en ningún caso el sobrepeso o exceso de masa de cualquier barra corrugada será causa de rechazo) [11], costos que deben ser subsidiados tanto por la empresa como por el cliente.

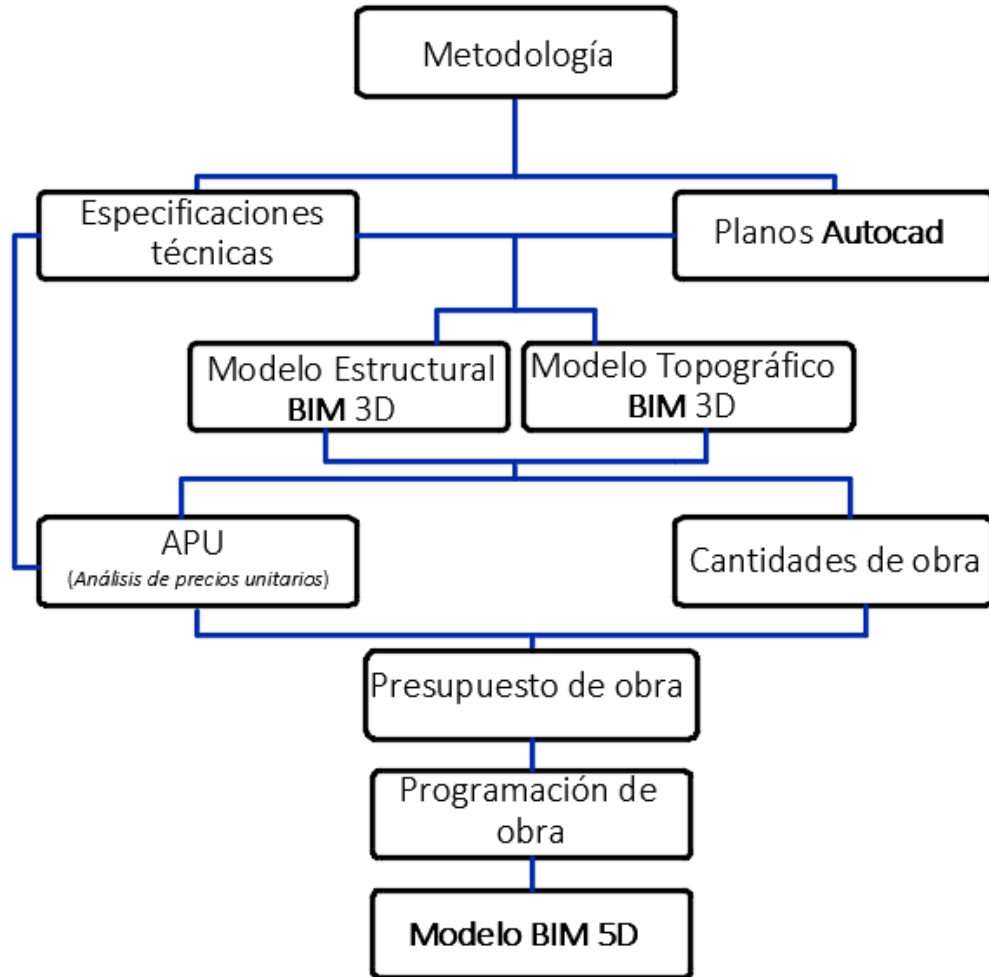
1.2 ELABORACIÓN DEL MODELO BIM 5D

Para el desarrollo del modelo, se tomó como referencia el artículo Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías (Building Information Modeling) [1], los pasos para generarlo se muestran en la Figura 3.

1.2.1. Especificaciones: El caso de estudio corresponde a una estructura en concreto reforzado la cual será fundida in situ, el acero de refuerzo debe ser acero Grado 60 [11], las barras requeridas para el proyecto van desde 3 hasta 8 y sus longitudes se encuentran consignadas en los planos estructurales, además para cada diámetro se deben cumplir con las respectivas longitudes de traslapo y empalmes, longitudes de desarrollo y radios de doblado, de acuerdo a las Normas Colombianas de construcción Sismo- Resistente NSR-10 [13].

1.2.2. Planos Estructurales: Se tuvieron en cuenta los planos estructurales en formato CAD 2D correspondientes a las estructuras de concreto reforzado y de la estructura metálica de la estación Portal Girón, estos fueron proporcionados por el grupo de investigación Geomática de la Universidad Industrial de Santander.

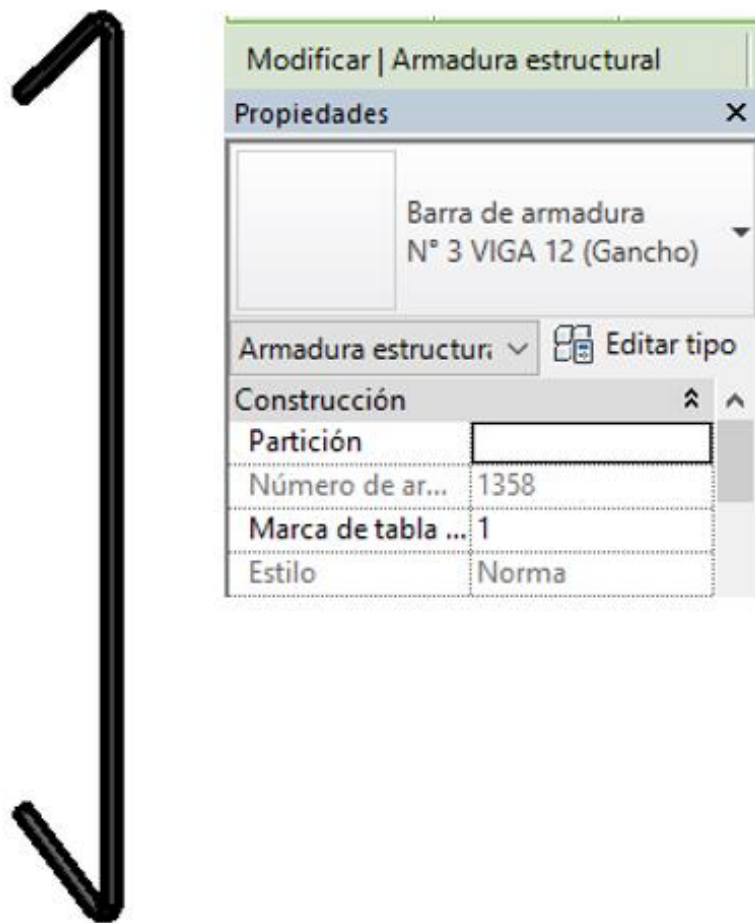
Figura 3. Procedimiento modelo BIM 5D. Fuente: Creación propia



1.2.3. Modelo BIM 3D: Partiendo de los planos estructurales, se generó el modelo BIM 3D con el programa Autodesk Revit 2015 [14] con el objetivo de tener una visualización detallada de los elementos que componen el proyecto, detectar falencias en cuanto a posicionamiento, faltantes, excesos, interferencias e incongruencias entre elementos. El modelo se inicia con la topografía y las excavaciones correspondientes, luego se modelan los elementos de concreto reforzado, como, zapatas, columnas, muros de contención, muros de cimentación, escaleras, rampas, placas, y de la estructura metálica del domo de la estación. Por último, se realiza el reforzamiento de todos los elementos de concreto reforzado. Debido a la gran cantidad de barras de refuerzo se hizo necesario el establecer

una nomenclatura adecuada para que fueran identificables fácilmente, la cual contiene: el elemento estructural al que pertenecen (vigas, columnas, placas, entre otras), su ubicación en el proyecto, su forma geométrica (gancho, estribo o barra longitudinal) y su diámetro (Ver figura 4).

Figura 4. Elemento figurado. Fuente: Elaboración en el software Autodesk Revit 2015



1.2.4. Cantidades de obra: Con el programa Autodesk Revit 2015 [14] se calculan las cantidades en metros cúbicos correspondientes a concretos y aceros del modelo anteriormente generado. Las cantidades de concreto se hallan filtrando

por material estructural y tipo de elemento, y las de acero se filtran por tipo. Todas las cantidades se exportan a Microsoft Excel con el fin de totalizarlas y ordenarlas. Las cantidades de acero en m³ se multiplican por la densidad del acero (7850 Kg/m³) para obtener su masa en Kilogramos.

1.2.5. APU. Los análisis de precios unitarios (APU) se obtuvieron a partir de cotizaciones realizadas en la ciudad de Bucaramanga, de los precios de referencia para Santander del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) [16], los rendimientos de mano de obra para actividades de construcción [17] y la base de datos CONSTRUDATA [18], Los costos de mano de obra fueron obtenidos de la calculadora laboral del ministerio de trabajo [19].

1.2.6. Presupuesto: El costo de ejecución de la obra se genera con la sumatoria de los costos de las diferentes actividades, multiplicando las cantidades de obra halladas, por el costo de ejecutar una unidad del elemento correspondiente [Cantidades x APU] [1].

1.2.7. Programación de Obra: Siguiendo un orden lógico del proceso constructivo, se organizan las actividades que se llevan a cabo a lo largo del proceso constructivo, y se halla la duración de cada una con el producto de la cantidad por el rendimiento, además se establecen las relaciones entre las diferentes actividades. Dentro de las configuraciones del proyecto se establece: el horario laboral, el cual consta de 48 horas semanales; y los recursos que se tendrán disponibles [10 cuadrillas AA] (1 Oficial + 1 Ayudante).

1.2.8. Modelo BIM 5D: El modelo BIM 5D se desarrolló en el programa Autodesk Navisworks Manage 2015 [15], enlazando todas las actividades consignadas en la programación de obra con el correspondiente elemento a ejecutar del modelo BIM 3D. Seguidamente se realizan las animaciones de cómo se lleva a cabo el proceso

constructivo y se genera un video ilustrativo, el cual permite ver claramente con coherencia en el tiempo, el desarrollo de la obra.

1.3. ELABORACIÓN DE LOS PEDIDOS

Partiendo de la nomenclatura mencionada en la elaboración del modelo BIM 3D, se organizan las barras de refuerzo en tablas de acuerdo al elemento estructural al que pertenecen, en estas se muestra su peso individual y el peso total del refuerzo, con esto, al momento de elaborar los pedidos, el proveedor tendrá la oportunidad de figurar y enviar cada elemento de acero reforzado de forma exacta y precisa logrando mitigar el desperdicio de material por concepto de manipulación en obra (figuración del acero de refuerzo).

Para el transporte del acero se utilizan los tres tipos de camiones mostrados en la figura 5, con su respectiva capacidad de carga mostrada en la tabla1 [20], los cuales como mínimo deben estar al 96% de su capacidad de carga. Así, conociendo las fechas consignadas en la programación de obra y la cantidad exacta de material que se requiere hasta cierto momento, se establecen las fechas en que sería necesario solicitar un pedido, para esto, se generan tablas en donde se muestra el diámetro de la barra, la cantidad necesaria, la longitud de esta y un detalle de figuración (ver figura 3).

Tabla 1. Carga máxima según camión Tipo.

Camión	Carga Máxima [Kg]
CAMION NHR REWARD EURO IV	2268
CAMION NPR REWARD EURO IV	4782
CAMION FRRR FORWARD EURO IV	7119

Figura 5. Vehículos de transporte



1.4. MODELADO EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Para generar el modelo se utilizó el software evolución 4.0, teniendo en cuenta las características y principios de la dinámica de sistemas, este modelo se genera basado en las fechas correspondiente al cronograma en que llegan los pedidos, y en que tienen que ser instalados los elementos, contenidas en la programación de obra elaborada teniendo como recursos de trabajo 10 cuadrillas A-A (1 Oficial + 1 Ayudante).

El software Evolución 4.0 [21] puede trabajar en diferentes unidades de medida, para este caso se usó el día, por lo tanto las fechas establecidas se convierten a número de días del proyecto, se ingresa al programa los días de las actividades mencionadas y la cantidad de elementos que llegan y cuantos salen en ese día, el programa organiza y totaliza dichas cantidades a lo largo del tiempo y genera las tablas y gráficas del número de elementos que se encuentran en almacén en cualquier día del proyecto, lo cual hace a este software una herramienta muy útil que le permite al ingeniero en obra tener mayor control sobre la programación y los tiempos en que se desarrollan las actividades referentes al acero de refuerzo.

1.5. DESARROLLO DE UN ALGORITMO EN UML PARA LA PLANIFICACIÓN DEL SUMINISTRO DEL ACERO DE REFUERZO

Teniendo en cuenta la información recogida en las etapas anteriormente mencionadas se desarrolla un algoritmo en UML, en el cual se muestren los pasos necesarios para realizar la planificación del suministro de acero de refuerzo, con base en la modelación y simulación en los ambientes BIM 5D y dinámica de sistemas, el cual será aplicable a cualquier estructura de concreto reforzado.

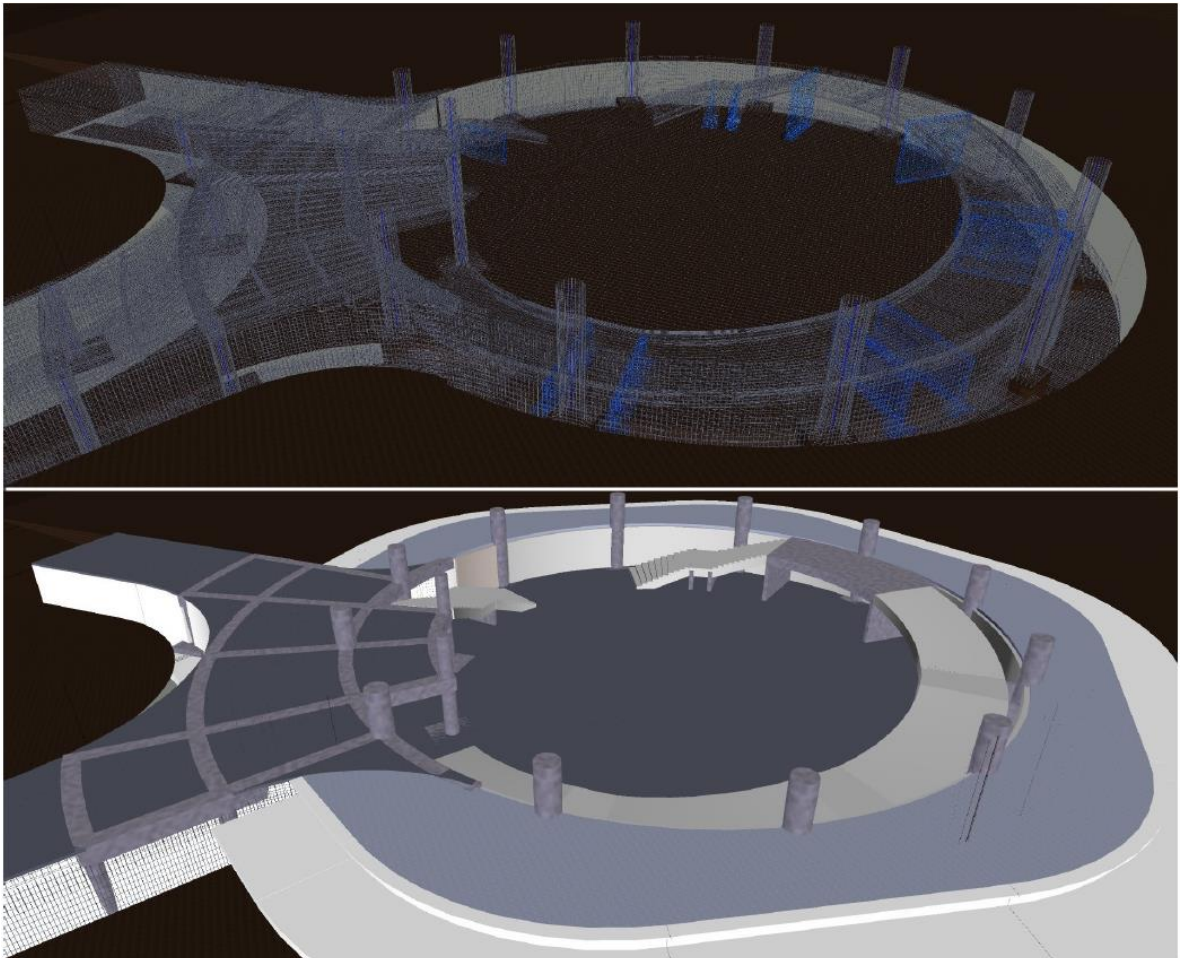
El diagrama hecho en UML tiene como propósito que pueda ser usado por diferentes usuarios en cualquier tipo de proyecto, en este se encuentra un paso a paso para dar la oportunidad de optimizar la administración de los pedidos de acero de refuerzo para obras de concreto reforzado y da la oportunidad de servir como base para próximos proyectos enfocados en diferentes materiales, tales como concreto, ladrillo entre otros.

2. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se mencionan a continuación:

Un **Modelo 3D** en Revit 2015 de los elementos de concreto con su respectivo refuerzo de la estación Portal Girón (Ver figura6).

Figura 6. Modelo BIM 3D en el software Autodesk Revit 2015.



Un **presupuesto**, elaborado teniendo en cuenta las cantidades de obra referentes al concreto y al acero halladas con Autodesk Revit 2015, y los análisis de precios unitarios (Ver figura 7).

Figura 7. Presupuesto

PRESUPUESTO DOMO ESTACION PORTAL GIRON					
ID	nombre Item	UND	Cantidad [UND]	Precio Unitario [\$]	Subtotal [\$]
1 PRELIMINARES					
1.1	Replanteo General	m2	2.783,30	\$ 499	\$ 1.388.867
1.2	Excavacion mecanica en material comun(incluye cargue)	m3	58,46	\$ 20.957	\$ 1.225.167
subtotal [\$]					\$ 2.614.034
TOTAL 1 [m3]					\$ 2.614.034
2 CIMENTACION Y CONTENCIÓN (ZAPATAS Y COLUMNAS)					
2.1 Concretos					
2.1.1	Concreto para zapatas 2x2x0,4	m3	19,2	\$ 933.246	\$ 17.918.329
2.1.2	Concreto para zapatas 2,5x2,5x0,4	m3	22,5	\$ 930.559	\$ 20.937.571
2.1.3	Concreto para columnas D=1,2m	m3	82,44	\$ 954.969	\$ 78.727.644
2.1.4	Concreto para columnas D=0,8m	m3	18,7	\$ 966.149	\$ 18.066.983
subtotal [\$]					\$ 135.650.527
2.2 Acero de refuerzo					
2.2.1	Acero para zapatas 2 x 2 x 0.4	Kg	1372,1172	\$ 3.380	\$ 4.637.756
2.2.2	Acero para zapatas 2.5 x 2.5 x 0.4	Kg	918,6056	\$ 3.380	\$ 3.104.887
2.2.3	Acero para columnas d=1.2m	Kg	9390,5847	\$ 3.380	\$ 31.740.176
2.2.4	Acero para columnas d=0.8m	Kg	5504,4691	\$ 3.380	\$ 18.605.106
subtotal [\$]					\$ 58.087.925
TOTAL 2 [\$]					\$ 193.738.452
3 CIMENTACION Y CONTENCIÓN (MUROS)					
3.1 Concretos					
3.1.1	Concreto para muros de contencion b=3,5m	m3	343,05	\$ 794.921	\$ 272.697.666
3.1.2	Concreto para muros de contencion b=5m	m3	563,93	\$ 792.554	\$ 446.945.162
3.1.3	Concreto para muros rampas y escaleras	m3	91,93	\$ 786.442	\$ 72.297.568
Subtotal [\$]					\$ 791.940.396
3.2 Acero de refuerzo					
3.2.1	Acero para muros de contencion b=3,5m	Kg	21195,6	\$ 3.380	\$ 71.641.128
3.2.2	Acero para muros de contencion b=5m	Kg	34621,3	\$ 3.380	\$ 117.019.994
3.2.3	Acero para muros rampas y escaleras	Kg	4852,5426	\$ 3.380	\$ 16.401.594
Subtotal[\$]					\$ 205.062.716
TOTAL 3 [\$]					\$ 997.003.112
4 ESTRUCTURA (PISO)					
4.1 Concretos					
4.1.1	Concreto para pisos	m3	686	\$ 59.149	\$ 40.576.214
Subtotal					\$ 40.576.214
4.2 Acero de refuerzo					
4.2.1	Acero de refuerzo para piso	Kg	11471,78	\$ 3.380	\$ 38.774.616
Subtotal					\$ 38.774.616
TOTAL 4 [\$]					\$ 79.350.830

5		ESTRUCTURA (PLACAS)					
5.1	Concreto						
5.1.1	Concreto para Vigas 80 x80 (placa 2)	m3	89,09	\$	1.019.268	\$	90.806.620
5.1.2	Concreto para Vigas 50x65 (placa 1)	m3	4,71	\$	1.033.246	\$	4.866.588
5.1.3	Concreto para viguetas de la placa 1	m3	1,76	\$	4.212.777	\$	7.414.488
5.1.4	Concreto para viguetas de la placa 2	m3	34,98	\$	1.978.640	\$	69.212.820
5.1.5	Concreto para Placa 1	m3	2,87	\$	3.201.618	\$	9.188.644
5.1.6	Concreto para Placa 2	m3	85,18	\$	1.149.371	\$	97.903.387
					subtotal	\$	279.392.547
5.2	Acero de refuerzo						
5.2.1	Acero de refuerzo Vigas 80 x80 (placa 2)	Kg	14678,44	\$	3.380	\$	49.613.127
5.2.2	Acero de refuerzo Vigas 50x65 (placa 1)	Kg	669,1811	\$	3.380	\$	2.261.832
5.2.3	Acero de refuerzo para viguetas de la placa 1	Kg	358,2034	\$	3.380	\$	1.210.727
5.2.4	Acero de refuerzo para viguetas de la placa 2	Kg	9968,032	\$	3.380	\$	33.691.948
5.2.5	Acero de refuerzo Placa 1	Kg	14,9307	\$	3.380	\$	50.466
5.2.6	Acero de refuerzo Placa 2	Kg	13249,94	\$	3.380	\$	44.784.797
					subtotal	\$	131.612.898
						TOTAL 5 [\$]	\$ 411.005.444

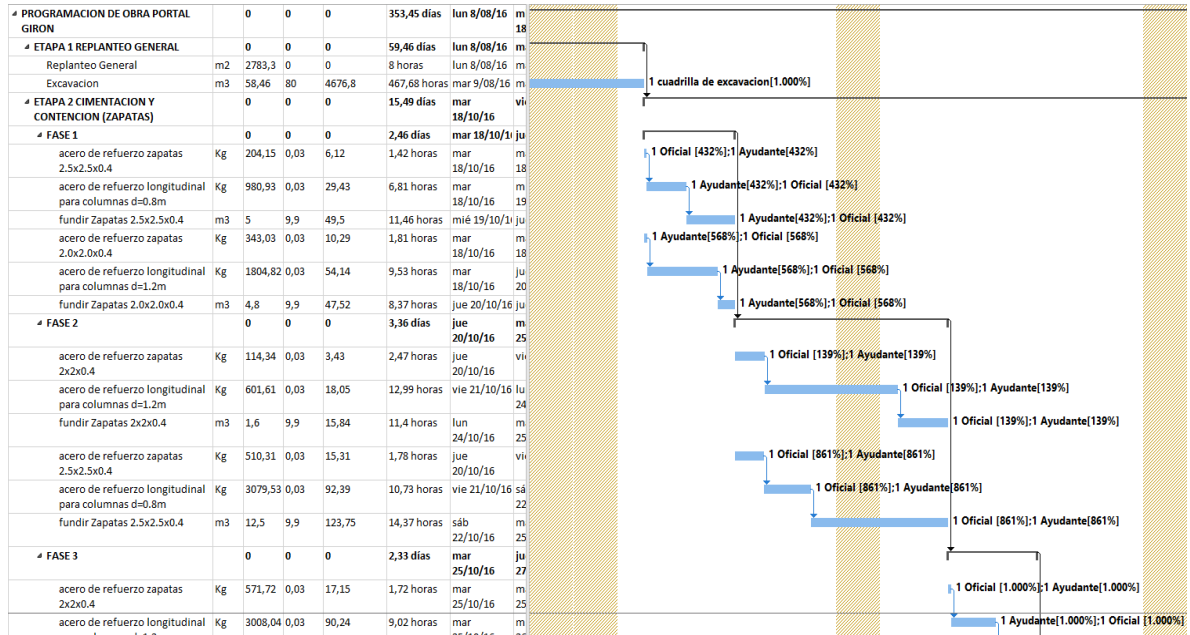
6		ESTRUCTURA (ESCALERAS Y RAMPAS)					
6.1	Concreto						
6.1.1	Concreto para Escaleras	m3	39,68	\$	1.021.834	\$	40.546.386
6.1.2	Concreto para Rampas	m3	70,53	\$	1.021.834	\$	72.069.975
					subtotal	\$	112.616.361
6.2	Acero de refuerzo						
6.2.1	Acero para Escaleras	Kg	4477,0445	\$	3.380	\$	15.132.410
6.2.2	Acero para Rampas	Kg	9967,32	\$	3.380	\$	33.689.542
					subtotal	\$	48.821.952
						TOTAL 6 [\$]	\$ 161.438.313

TOTAL PROYECTO (\$) \$ 1.765.799.356

TOTAL PROYECTO	\$	1.766
(millones de pesos)		

Una **programación de obra** realizada a partir de cantidades de obra, y rendimiento de las 10 cuadrillas compuestas por un Oficial y un Ayudante (A-A) utilizadas (Ver figura 8).

Figura 8. Programación de obra.



Un **modelo BIM 5D** obtenido con Navisworks, el cual integra el modelo BIM 3D, el presupuesto, y la programación de obra (Ver figura 9).

Figura 9. Modelo BIM 5D

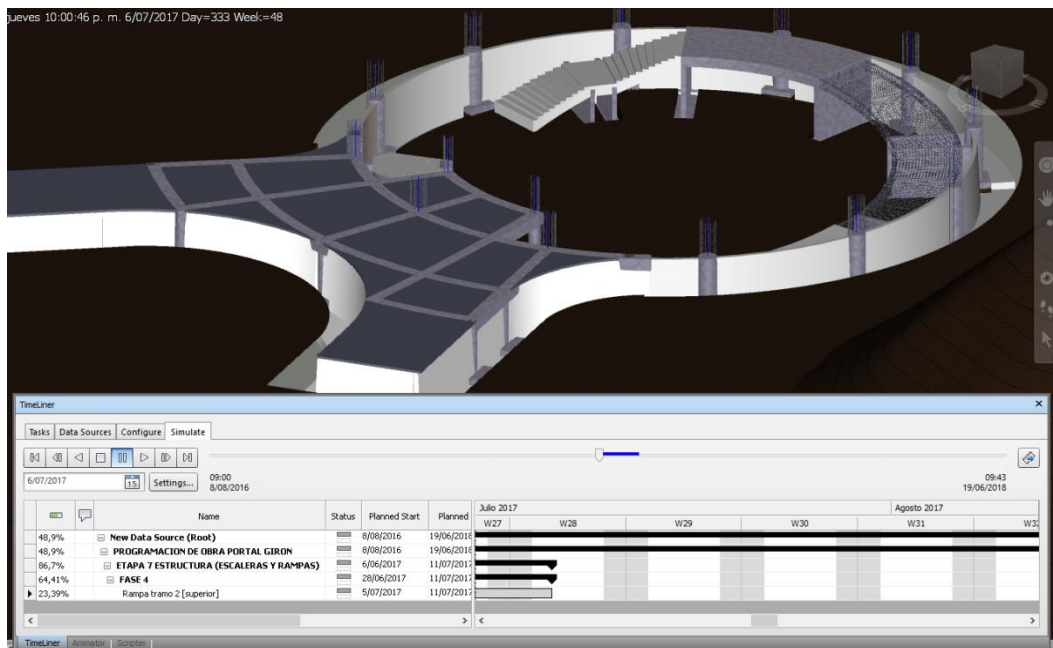








Tabla con las fechas de llegada de los pedidos, elaboradas teniendo en cuenta las cantidades necesarias en obra y la capacidad de carga del vehículo de transporte en kg (Ver figura 2).

Tabla 2. Fechas de pedidos.

Pedido	FECHA DE LLEGADA (DD/MM/AA)	Carga Transportada [Kg]	Camión Tipo	% Capacidad del camión
Pedido #1	18/10/16	6835	FRR	96
Pedido #2	20/10/16	7157	FRR	100
Pedido #3	27/10/16	2232	NHR	98
Pedido #4	24/11/16	7103	FRR	100
Pedido #5	24/11/16	7122	FRR	100
Pedido #6	23/12/16	7250	FRR	102
Pedido #7	23/12/16	7098	FRR	100
Pedido #8	17/01/17	7062	FRR	99
Pedido #9	17/01/17	7085	FRR	100
Pedido #10	13/02/17	7071	FRR	99
Pedido #11	13/02/17	6977	FRR	98
Pedido #12	18/03/17	7102	FRR	100
Pedido #13	31/03/17	7079	FRR	99
Pedido #14	31/03/17	7028	FRR	99
Pedido #15	31/03/17	6828	FRR	96
Pedido #16	31/03/17	7105	FRR	100
Pedido #17	03/04/17	7100	FRR	100
Pedido #18	03/05/17	7060	FRR	99
Pedido #19	03/05/17	7030	FRR	99
Pedido #20	11/05/17	3812	NPR	80

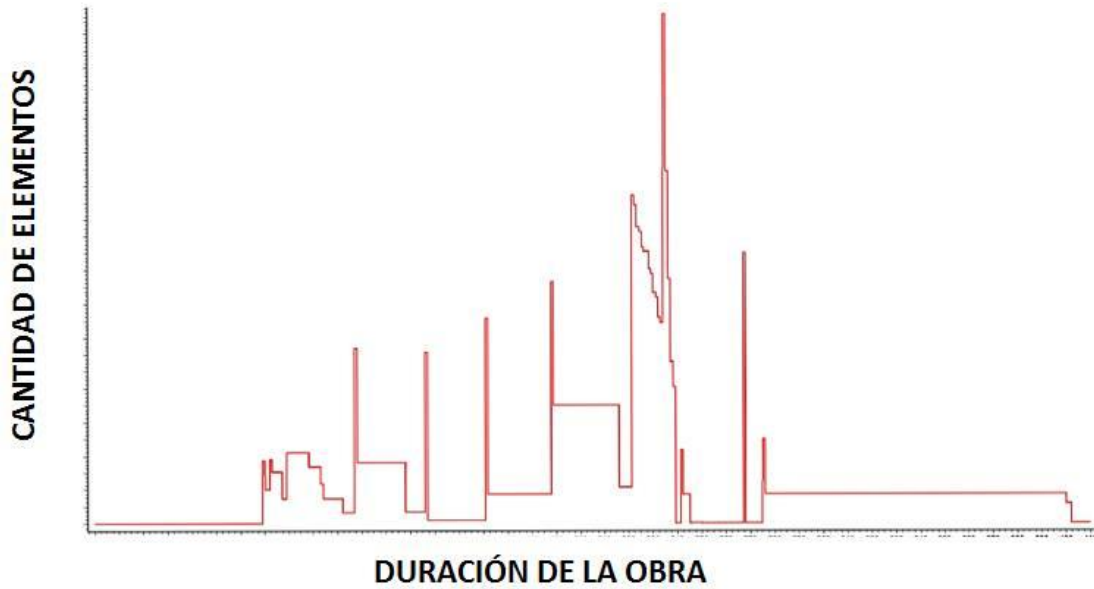
Los Pedidos elaborados se entregan debidamente diferenciados como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Pedido No 6.

Pedido No 6				
Diámetro barra	Longitud [cm]	Cant.	Tipo	Detalle
No 4	180	70	MURO 1' LONGITUDINAL	
	600	70	MURO 1' LONGITUDINAL	
	248	137	MURO 11'-DC TRANSVERSAL	
	346	137	MURO 11'-DC TRANSVERSAL	
No 6	448	180	MURO 11'-DC TRANSVERSAL	
No 6	541	318	MURO 11'-DC TRANSVERSAL	

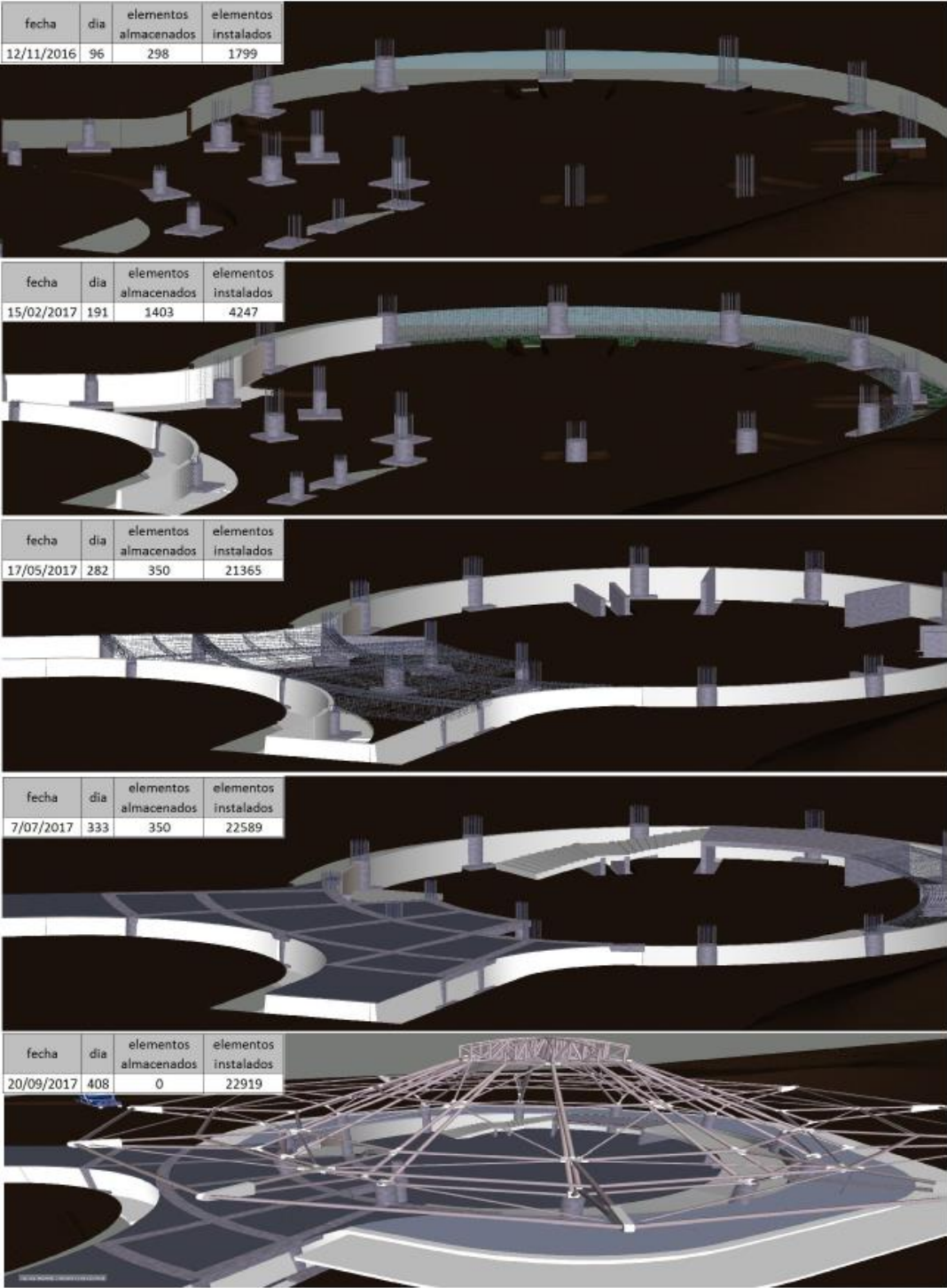
Un **Modelo en dinámica de sistemas** generado con el software Evolución 4.0(Ver figura 10).

Figura 11. Variación del flujo de material durante el proceso constructivo



Con dinámica de sistemas es posible conocer la cantidad de elementos almacenados y elementos instalados a lo largo de la duración del proyecto, ver figura 12.

Figura 12. Cantidad de elementos almacenados e instalados respecto del tiempo.



Un algoritmo en UML para la planificación del suministro de acero de refuerzo, con base en la modelación y simulación en los ambientes BIM 5D y dinámica de sistemas Ver figura 13.

Figura 13. Algoritmo en UML



3. DISCUSION Y RECOMENDACIONES

El principal propósito del sistema de suministro e instalación del acero de refuerzo es maximizar la eficiencia operativa, la rentabilidad y la ventaja competitiva de las empresas participantes mediante el cumplimiento de los requisitos del cliente de una mejor manera [8]. Con el fin de medir su rendimiento en términos de tiempo, se tienen en cuenta, el tiempo de producción y aprobación de los planos de diseño, el tiempo requerido para detallar y calcular las cantidades, el tiempo de envío a la obra, las fechas consignadas en la programación de obra, y el tiempo de instalación [8], a continuación se menciona como el BIM y la dinámica de sistemas son de utilidad para el manejo de la cadena de suministro:

3.1. BIM 3D

En etapas tempranas del desarrollo del modelo BIM 3D se estableció una nomenclatura clara de los elementos de refuerzo, que permitió el manejo de la gran cantidad de información mediante el programa Autodesk Revit 2015, en el cual una vez terminado el modelado 3D se filtró la información a partir de la descripción que tenían los elementos de un mismo tipo, por esto fue necesario que la nomenclatura consistiera de: El elemento estructural al que pertenece, ubicación en el proyecto, forma geométrica y su diámetro.

Mediante la visualización del modelo BIM 3D fue posible la detección de interferencias entre muros, zapatas, escaleras y rampas; Además de incongruencias de difícil visualización en planos en 2D tales como el mal posicionamiento de columnas; Su detección en la práctica permite que estos errores sean corregidos en las etapas de diseño, de lo contrario se cometerán en

obra, desencadenando pérdidas de material por construcción incorrecta, pérdidas de tiempo por el retraso que genera las actividades necesarias de corrección y un efecto domino en las demás actividades posteriores, así como los sobrecostos que traen consigo.

3.2. BIM 5D

El BIM 5D permite tener una visualización más clara del proceso constructivo, conociendo tiempos y costos durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto, a partir de esto se generaron videos, en los cuales era posible ver como avanzaba la obra en el tiempo y como unas actividades podrían verse interferidas por otras, así, fue necesario crear varias opciones de programación de obra, las cuales se evaluaron con la ayuda del modelo BIM 5D hasta escoger la mas viable para que se ejecutara la obra en menor tiempo y por ende evitar que se generaran perdidas debidas a la mala programación de las actividades.

La elaboración de pedidos de acero de refuerzo es una labor compleja debido a la gran cantidad de elementos, con la información obtenida del modelo BIM 5D y su organización en tablas se eliminan incertidumbres relacionadas con las formas geométricas, longitudes, diámetros y localizaciones del acero de refuerzo y se da la posibilidad de hacer los pedidos con las cantidades exactas de material necesario durante las diferentes etapas del proyecto, además de facilitar el manejo de la información por parte de los entes involucrados en la cadena de suministro e instalación del acero, desde proveedores hasta constructores.

3.3. DINÁMICA DE SISTEMAS

El modelado en dinámica de sistemas permite controlar el flujo del acero de refuerzo durante el proceso constructivo, mostrando fechas importantes para la gestión del mismo, como, los días en que llegan los pedidos, los días en que se debe iniciar la instalación de los elementos y la cantidad de elementos presentes en almacén, dichos elementos se organizaron por estribos, barras longitudinales y ganchos. Mediante la programación que se obtuvo en primera instancia de los pedidos se pudo apreciar que en varios casos se generaban flujos negativos de material, es decir, que en almacén no había material suficiente para cumplir con la demanda, ante lo cual se tuvo que volver a revisar la distribución de los pedidos hasta encontrar una configuración que garantizara que siempre habrá el acero de refuerzo necesario en almacén, listo para ser instalado, lo cual confirmó la utilidad del modelo en dinámica de sistemas para evitar flujos negativos o excesos de material en almacén que se traducen en demoras y pérdidas monetarias asociadas a la falta de material en obra.

4. CONCLUSIONES

La planificación del suministro e instalación del acero de refuerzo con base en modelación y simulación en ambientes BIM 5D y dinámica de sistemas es posible con la ejecución de siete labores:

- 1) Establecimiento de una nomenclatura clara y sencilla para los elementos de refuerzo que incluya, el elemento estructural al que pertenece, ubicación en el proyecto, forma geométrica, y su diámetro.
- 2) elaboración de un modelo BIM 3D y análisis de rendimientos.
- 3) elaboración del presupuesto de obra.
- 4) elaboración de un modelo BIM 5D.
- 5) elaboración de órdenes de pedidos.
- 6) elaboración de un modelo en dinámica de sistemas.
- 7) instalación.

Además de una buena planificación de la cadena de suministro, se encuentra que el éxito de la misma depende en gran medida de la comunicación y cooperación existente entre el grupo de ingenieros encargados del diseño, los contratistas encargados de la ejecución de las obras, y de la empresa figuradora del acero de refuerzo.

Se encuentra que el método mostrado contribuye a la optimización del proceso constructivo y da una luz a grandes avances en cuanto a la planificación, suministro e instalación de diversos recursos que podrían hacer parte de próximas investigaciones, tales como: tuberías, concretos, recurso humano, entre otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar y GALVIS, José. Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías (building information modeling). En: Revista Gerencia Tecnológica Informática - GTI. Abril, 2015, vol. 14, p. 30-45.
- [2] Porras-Díaz, H., Sánchez-Rivera, O. G., Galvis-Guerra, J. A., Jaimez-Plata, N. A., Castañeda-Parra, K. M. (2015). Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. *Entramado*, 11(1), 230-249.
- [3] Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., and Orndorff, D. 2005. "A target benchmark of the impact of three-dimensional parametric modeling in precast construction". *PCI J.*, 50.4, 126-139.
- [4] Aram, S., Eastman, C., Sacks, R. (2013). Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. *Automation in Construction*, 35, 1-17.
- [5] Kant, K., Srinivasan, M. M. (1992). Introduction to computer system performance evaluation. McGraw-Hill College.
- [6] Schelasin, R. E., Mauer, J. L. (1995). Creating flexible simulation models. *IIE Solutions*, 27(5), 50-56.
- [7] Martinez, J. C., Ioannou, P. G. (1997, October). State-based probabilistic scheduling using STROBOSCOPE's CPM add-on. In Proceedings, Construction Congress V, ASCE, Stuart D. Anderson, ed, Minneapolis, MN (pp. 438-445).

[8] Polat, G., Ballard, G. (2003, July). Construction supply chains: Turkish supply chain configurations for cut and bent rebar. In Proc., 11th Annual Conf. on Lean Construction (pp. 319-331). Virginia: IGLC.

[9] Troncoso, M., Esteban, J. (2012). Diseño de un sistema de control de la puesta en obra del acero de refuerzo del hormigón armado utilizando tecnología BIM.

[10] Giunipero, L. C. (1990). Motivating and monitoring supplier performance. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(3), 19-24.

[11] Norma Técnica Colombiana NTC 2289, Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto, esta norma es una adopción modificada de la ASTM A706/A M:2001, octubre 30 de 2002.

[12] Rebar benders and shears. Recuperado de: <http://www.chinatjk.com/products.htm>

[13] Resistente, R. C. D. C. S. (2010). NSR-10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.

[14] Autodesk Revit 2015, disponible en: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>

[15] Autodesk Navisworks Manage 2015. Disponible en: <http://www.autodesk.com/education/free-software/navisworksmanage>.

[16] INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, analisis de precios unitarios territoriales, Santander disponible en: <http://www.invias.gov.co/index.php/informacioninstitucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>.

[17] Polanco, L. (2009). Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción. Tesis de trabajo de grado publicado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia.

[18] CONSTRUDATA. Precios de insumos y análisis unitarios. Disponible en: <http://www.construdata.com/HomePresupuestar.asp?>

[19] MINISTERIO DE TRABAJO DE COLOMBIA. Calculadora Laboral del Ministerio de Trabajo. [Citado 12 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/calculadoralaboral.html>.

[20] Chevrolet/Camiones/Ficha Técnica/ pesos y capacidades. Disponible en: <http://www.chevrolet.com.co>.

[21] EVOLUCION 4.0, Colombia, Grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación, UIS, 2006, Disponibilidad: No restringido, Sitio web: <http://simon.uis.edu.co/WebSIMON/software/indsf.htm>

BIBLIOGRAFIA

ARAM, S., EASTMAN, C., SACKS, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. *Automation in Construction*, 35, 1-17. 2013

AUTODESK Navisworks Manage 2015. [en línea] disponible en: <http://www.autodesk.com/education/free-software/navisworksmanage>.

AUTODESK Revit 2015, [en línea] disponible en: <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>

CHEVROLET Camiones/Ficha Tecnica/ pesos y capacidades. [en línea] disponible en: <http://www.chevrolet.com.co>.

CHINATJK Rebar benders and shears. [en línea] disponible en: <http://www.chinatjk.com/products.htm>

CONSTRUDATA. Precios de insumos y análisis unitarios. [en línea] disponible en: <http://www.construdata.com/HomePresupuestar.asp?>

EVOLUCION 4.0, Colombia, Grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación, UIS, 2006, Disponibilidad: No restringido, [en línea] disponible en: <http://simon.uis.edu.co/WebSIMON/software/indsosf.htm>

GIUNIPERO, L. C. Motivating and monitoring supplier performance. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(3), 1990 19-24.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Análisis de precios unitarios territoriales, Santander [en línea] disponible en: <http://www.invias.gov.co/index.php/informacioninstitucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>.

KANT, K., SRINIVASAN, M. M. Introduction to computer system performance evaluation. McGraw-Hill College. 1992

MARTINEZ, J. C., IOANNOU, P. G. State-based probabilistic scheduling using STROBOSCOPE's CPM add-on. In Proceedings, Construction Congress V, ASCE, Stuart D. Anderson, ed, Minneapolis, MN (pp. 438-445). 1997, October

MINISTERIO DE TRABAJO DE COLOMBIA. Calculadora Laboral del Ministerio de Trabajo. [en línea]: [Citado 12 de junio de 2016]. Disponible en: <http://www.mintrabajo.gov.co/calculadoralaboral.html>.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2289, Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto, esta norma es una adopción modificada de la ASTM A706/A M:2001, octubre 30 de 2002.

POLANCO, L. Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción. Tesis de trabajo de grado publicado, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. 2009

POLAT, G., BALLARD, G. Construction supply chains: Turkish supply chain configurations for cut and bent rebar. In Proc., 11th Annual Conf. on Lean Construction (pp. 319-331). Virginia: IGLC. 2003, July

PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar y GALVIS, José. Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías (building

information modeling). En: Revista Gerencia Tecnológica Informática - GTI. Abril, 2015, vol. 14, p. 30-45.

PORRAS-DÍAZ, H., SÁNCHEZ-RIVERA, O. G., GALVIS-GUERRA, J. A., JAIMEZ-PLATA, N. A., CASTAÑEDA-PARRA, K. M. (). Tecnologías “Building Information Modeling” en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. Entramado, 11(1), 230-249. 2015

RESISTENTE, R. C. D. C. S. NSR-10. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá. 2010

SACKS, R., EASTMAN, C. M., LEE, G., and ORNDORF, D.. “A target benchmark of the impact of three-dimensional parametric modeling in precast construction”. PCI J., 50.4, 126-139. 2005

SCHELASIN, R. E., MAUER, J. L. Creating flexible simulation models. IIE Solutions, 27(5), 50-56. 1995

TRONCOSO, M., ESTEBAN, J. Diseño de un sistema de control de la puesta en obra del acero de refuerzo del hormigón armado utilizando tecnología BIM. 2012